Phys Lab.
Oberlin College Library,
Not to be Drawn

PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

No. 20. 15. Oktober 1917. 18. Jahrgang.
Redaktionsschluß für No. 22 am 25. Oktober 1917.

INHALT:

Originalmitteilungen:
O. Grotrian, Notizen zum Studium der Augenbewegungen. S. 469.
A. Wenzel, Über die zur Erkennung schwacher Doppelbrechung dienenden empfindlichen Farben. S. 472.
M. Wolfke, Über eine neue Sekundärstrahlung der Kanalstrahlen. S. 479.
P. Debye, Die Atomanordnung von Wolfram. S. 483.
Zusammenfassende Bearbeitungen:
E. Wagner, Über Röntgenspektroskopie. (Schluß.) S. 488.
Personalien. S. 494.
Vorlesungsverzeichnis für das Wintersemester 1917/18. S. 494.

ORIGINALMITTEILUNGEN.

Notizen zum Studium der Augenbewegungen.

Von Otto Grotrian.

Sinn der Blickbewegung beim Verfolgen von Kurven.

Man betrachte die Zeichnung eines einfachen Kreises, s. Fig. 1, und verfolge bei stillgehaltenem Kopfe die Peripherie desselben mit einem Auge oder beiden. Der Blick kann dabei die Kreislinie sowohl rechts wie links herum durchlaufen. Dabei finden die meisten Personen bei genügender, aber unbefangener Aufmerksamkeit,

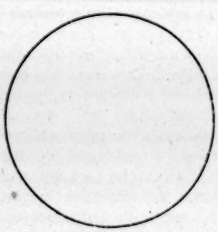


Fig. 1.

daß ihnen das Verfolgen der Kreislinie in einem bestimmten Sinne, sei es links oder rechts herum, bequemer ist als bei entgegengesetzter Blickwanderung. Für verhältnismäßig wenige Menschen ist es gleichgültig, in welchem Sinne ihr Blick die Kreislinie durchläuft.

Mir selbst erscheint es leichter, die Blickwanderung links herum, also gegen die Drehung des Uhrzeigers, auszuführen.

Ist die von den Augen verfolgte Kurve kein Kreis, so ist für mich die bequemere Blickwanderung allgemeiner diejenige, bei welcher die konkave Seite der betreffenden Kurve links liegt. Zur Definition von „links" stelle ich mir dabei vor, daß mein Körper die Kurve entlang schreitet im Sinne der von mir bevorzugten Blickbewegung. Mein linker Arm liegt dann auf der konkaven Seite der Kurve. Durchschreite ich demnach den einfachen Kreis im Sinne links herum, dann liegt dabei der linke Arm auf der inneren, also konkaven Seite der Kreislinie.

Augen mit derartig bevorzugter Blickbewegung kann man als „linksläufig" bezeichnen, während im entgegengesetzten Falle der Ausdruck „rechtsläufig" am Platze ist.

Der Unterschied in der Augenanstrengung bei Links- und Rechtslauf ist nur gering, und die Erkenntnis, ob die Augen links- oder rechtsläufig sind, erfordert bei einem Kreise aufmerksame Beobachtung. Man kann aber die Herbeiführung der richtigen Erkenntnis dadurch erleichtern, daß man nicht einen einzigen Kreis betrachtet, bei welchem der Sinn der Blickbewegung schroff gewechselt werden muß, sondern zwei oder mehrere Kurven, die von gleicher oder nahezu gleicher Größe sind. Dieselben sind miteinander durch einfache Linien derartig zu verbinden, daß beim Verfolgen des gesamten Linienzuges, also der Kurven und ihrer Verbindungen, die nebeneinander liegenden Kurven im entgegengesetzten Sinne durchlaufen werden. Die verbindenden Linien geben den Augen die nötige Direktive beim Verfolgen der ganzen Figur und wirken beim Übergange von einer zur benachbarten Kurve einem Abschweifen des Blickes auf die übrige Zeichenfläche entgegen. Gelegentlich können die verbindenden Linien auch durch Teile einer geometrischen Gesamtfigur dargestellt werden. Im folgenden mag auf einige genanntem Zweck dienende Zeichnungen hingewiesen werden.

Fig. 2 stellt zwei konzentrische, der Größe nach wenig verschiedene Kreise dar, bei denen die Umfänge nicht vollständig in sich zurücklaufen, sondern an einander nahegelegenen Stellen unterbrochen sind. Die Enden der äußeren Kreislinien sind mit den radial gegenüberliegenden Enden der inneren verbunden. Man durchlaufe mit dem Blick den so in sich geschlossenen Linienzug, etwa den äußeren Kreis links herum. Dann wird der innere rechts herum durchlaufen,

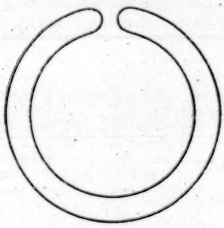


Fig. 2.

und man kann, ohne mit den Augen abzuschweifen, die Blickwanderung beliebig oft wiederholen. Dabei wird man bald zu einem Urteil darüber gelangen, ob die Augen links- oder rechtsläufig sind.

Das gleiche kann durch die Kurve der Fig. 3 erreicht werden. Dieselbe stellt genähert

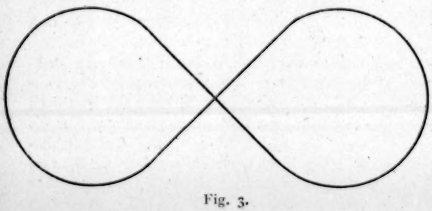


Fig. 3.

eine Lemniskate dar. Man lasse z. B. das Auge von dem Doppelpunkte aus nach links oben wandern und durchlaufe die Doppelschleife, bis man von rechts unten her den Doppelpunkt zum dritten Male erreicht. Bei der Blickwanderung, die beliebig oft ohne Abschweifung des Auges wiederholt werden kann, wird die linke Schleife links, die andere rechts herum durchlaufen. Das Durchlaufen der linken Schleife erscheint dabei meinem Auge bequemer als dasjenige der rechten. Das Umgekehrte findet statt, wenn ich die Blickwanderung vom Doppelpunkte aus nach links unten hin beginne.

Fig. 4 stellt zwei gleiche entgegengesetzt gewundene Spiralen dar, bei denen je ein äußeres Ende mit dem inneren Ende der anderen Spirale durch eine gerade Linie verbunden ist. Läßt man vom Kreuzungspunkte der Geraden aus den Blick nach links oben wandern, so wird nach vollständigem Verfolgen des Linienzuges die linke Spirale im Sinne links herum von außen nach innen, die rechte Spirale ebenfalls von außen nach innen im Sinne rechts herum durchwandert. Ohne den Linienzug zu verlassen, kann der Blick die Wanderung beliebig oft wiederholen. Das Verfolgen der linken Spirale links herum erscheint meinem Auge leichter als die Blickwanderung über die rechte Spirale. Die Form der Doppelspirale besitzt gegenüber derjenigen der Lemniskate den Vorzug, daß das Auge bei jener auf jeder Hälfte der Figur länger zu verweilen hat als bei dieser, wodurch der Einfluß des Umlaufsinnes verstärkt werden muß.

Nebenbei erscheint noch folgendes bemerkenswert. In Fig. 5 ist eine andere Verbindung der Spiralen gezeichnet. Hier sind die äußeren Enden derselben miteinander verbunden, ebenso die inneren. Durchläuft man den ganzen Linienzug, so werden beide Spiralen in gleichem Sinne durchlaufen, aber die eine von außen nach innen, die andere von innen nach außen. Soweit das wenig umfangreiche Beobachtungsmaterial Schlüsse zuläßt, scheint es, daß die Fälle, in denen das leichtere Durchwandern von außen nach innen und andererseits dasjenige von innen nach außen stattfindet, ungefähr gleich häufig vorkommen. Von 18 darüber befragten Personen erklärten je 9, daß die eine

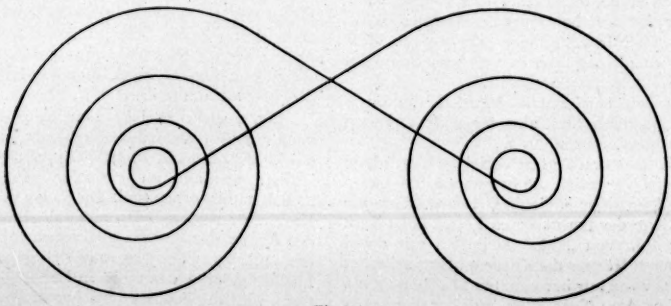


Fig. 4.

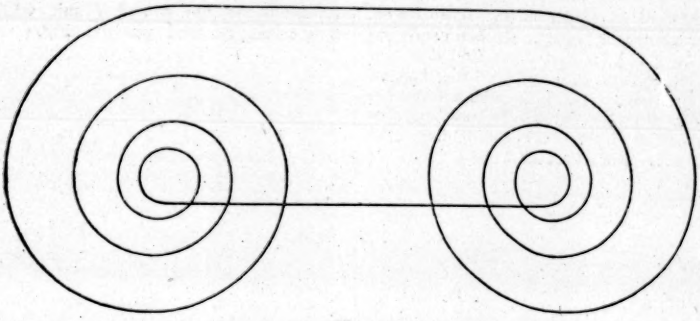


Fig. 5.

oder die andere Wanderung für sie die bequemere sei.

Durchwandert mein linksläufiges Auge die Sinuslinie in Fig. 6 von links nach rechts, dann ist für mich das Umwandern der Wellenberge weniger bequem als dasjenige der Wellentäler. Bei umgekehrter Wanderung von rechts nach links werden von mir die Wellenberge leichter als die Wellentäler umlaufen.

Bei 30 unter Vorlegung der einfachen Kreisfigur befragten Personen ergab sich, daß die Augen bei 9 links-, bei 19 rechtsläufig waren. Von 2 Personen wurde kein bestimmter Sinn der Blickwanderung bevorzugt. Hiernach ist einstweilen anzunehmen, daß rechtsläufige Augen in etwas größerer Zahl anzutreffen sind als linksläufige. Dagegen scheinen Augen ohne bestimmten Wanderungssinn verhältnismäßig selten vorzukommen.

Die Erklärung der beschriebenen Erscheinungen ist meiner Ansicht nach dadurch gegeben, daß vom Auge derjenige Sinn der Blickbewegung als der leichtere empfunden wird, welcher mit der geringeren Anstrengung der Augenmuskeln[1]) verbunden ist. Da die letzteren bei den verschiedenen Individuen nicht identisch sind, wird damit auch erklärlich, daß die Augen verschiedener Personen sich als links- oder rechtsläufig erweisen oder auch keinen bestimmten Wanderungssinn bevorzugen. Die betreffende Eigenschaft dürfte durch Gewohnheit und Beschäftigung zum mindesten stark beeinflußt werden.

Weg der Blickbewegung beim Übergang zwischen zwei Punkten.

Fig. 7 stellt zwei Punkte dar, die durch eine leicht gestrichelte Gerade verbunden sind. Der Punkt links werde durch l, derjenige rechts

Fig. 7.

durch r bezeichnet. Bei horizontaler Lage von rl fixiere man r kurze Zeit mit beiden Augen und hierauf l jedoch ohne die Absicht, einen bestimmten Blickweg zwischen r und l zu wählen.

Beim Wechsel der Blickrichtung, bei welchem der Kopf nicht bewegt wird, finden die verschiedenen Beobachter, daß entweder ihr Blick

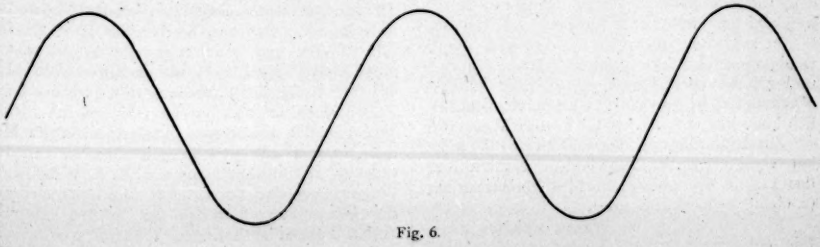


Fig. 6.

1) S. hierzu H. von Helmholtz, Handbuch der physiologischen Optik (2. Aufl.), S. 644 u. 669.

der Geraden rl folgt oder einem flachen Bogen, der über oder unter rl liegt. Machen die Augen den Rückweg von l nach r, dann sind dieselben drei Fälle möglich. Hin- und Rückweg können dabei gleich oder auch voneinander verschieden sein. Für den Gesamtweg $rllr$ ergeben sich daher 9 mögliche Fälle, die in Fig. 8 dargestellt und mit $a \ldots i$ bezeichnet sind.

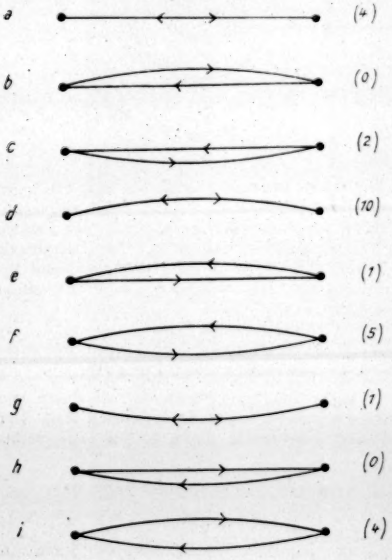


Fig. 8.

Von 27 Personen wurden Blickwege gewählt, deren Zahl in der Figur durch die rechts beigesetzten Ziffern angegeben ist. Zufolge der in nur mäßiger Zahl vorliegenden Beobachtungen würde nach d der Hin- und Rückweg über den oberen Bogen am häufigsten gewählt werden, während nach a, f und i Hin- und Rückweg auf der Geraden, auf oberen und unteren Bogen sowie umgekehrt auf unteren und oberen weniger oft in Frage kommen. Die Fälle c, e und g habe ich verhältnismäßig selten, b und h überhaupt nicht feststellen können. Wahrscheinlich kommen auch Augen für letztere Wege vor.

Zur Erklärung der verschiedenen Blickwege bei verschiedenen Individuen kann auch hier das Prinzip der geringsten Muskelanstrengung (s. oben) angewandt werden.

Die Feststellung des Weges, welchen ungefähr der Blick zwischen rl oder lr wählt, wird nicht unerheblich erleichtert, wenn man die Zeichenfläche um r und l mit willkürlichen Schnörkeln versieht, wie das Fig. 9 zur Darstellung bringt. Dieselben wirken als flüchtig gestreifte Merksteine in unmittelbarer Nähe des Blickweges.

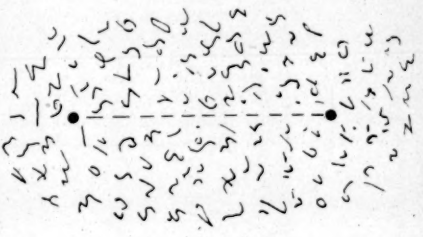


Fig. 9.

Aachen, August 1917.

(Eingegangen 13. August 1917.)

Über die zur Erkennung schwacher Doppelbrechung dienenden empfindlichen Farben.

Von Alfred Wenzel.

Die Koenigsbergerschen Methoden zur Erkennung und Messung optischer Anisotropie undurchsichtiger Substanzen beruhen bekanntlich auf der Beobachtung entweder der Savartschen Streifen oder der empfindlichen Farbe in einer Biot-Kleinschen Quarzplatte. Bei anderen Doppelbrechungserscheinungen wird an ihrer Stelle ein Gipsblatt oder eine Quarzplatte vom Rot erster Ordnung, dessen große Empfindlichkeit da hinreichend bekannt ist, wo die Biot-Kleinsche Quarzplatte oft versagt. So gelingt es leicht, die durch Fingerdruck in einem Objektträger hervorgerufene Phasenverschiebung mittels des genannten Gipsblattes nachzuweisen, sowie auch geringe Gangunterschiede an sehr dünnen Schliffen schwach doppelbrechender Mineralien zu erkennen, während hierbei die Biot-Kleinsche Platte nur sehr schwache Andeutungen eines Farbenumschlages wahrnehmen läßt. Andererseits zeigt der Farbton der Quarzplatte hohe Empfindlichkeit bei den im reflektierten Lichte beobachteten anisotropen, undurchsichtigen Medien, wobei das gewöhnliche Gipsblatt wieder versagt. Hierauf hat schon u. a. E. A. Wülfing[1]) hingewiesen, der auch durch eine Untersuchung der Intensitätsverhältnisse der in den empfindlichen Farben enthaltenen Spektralfarbenanteile

1) A. Wülfing, Heidelb. Ber. 1910, 24. Abh.

diesen Unterschied der beiden Hilfsmittel zu erklären versuchte. Nach Wülfing beruht er darauf, daß jede Farbe gegen die Art der Phasendifferenz empfindlich ist, der sie ihr Entstehen verdankt, wobei er darauf hinweist, daß bei der Phasenverschiebung an anisotropen, undurchsichtigen Medien infolge der verschiedenen Amplituden der beiden reflektierten Wellen auch eine Drehung der Polarisationsebene auftritt.

Im folgenden soll die Empfindlichkeit dieser Farben sowie ihr Unterschied nach einer anderen Methode quantitativ untersucht werden.

I. Über die Methode der Farbenberechnung[1]).

Die Erweiterung der Young-Helmholtzschen Theorie der Gesichtsempfindungen durch A. Koenig und C. Dieterici[2]) ermöglichte zunächst eine vergleichende quantitative Untersuchung der Reihen von Interferenzfarben, die an vier Gruppen von Apophylliten im polarisierten Licht auftreten[3]). Ferner wurden nach demselben Verfahren, das in ähnlicher Form zuerst von B. Trolle[4]) angewendet wurde, die Interferenzfarben untersucht, die an einem Quarzkeil mit einer Fläche parallel zur optischen Achse und an einem solchen mit einer Fläche senkrecht zur optischen Achse im parallelstrahligen Licht zwischen gekreuzten Nicols beobachtet werden[5]). Zur Erläuterung der hierbei verwendeten Methode sei hier folgendes angeführt.

A. Koenig und C. Dieterici bestimmten experimentell die Intensitäten r_λ, g_λ, b_λ der Grundempfindungen für mehrere Lichtarten des Spektrums und stellten sie als Funktion der Wellenlänge für normale trichromatische Farbensysteme dar. In der bei obigen Untersuchungen benutzten graphischen Darstellung wurde nach dem Vorbilde von B. Trolle der Maßstab so gewählt, daß

$$\int r_\lambda \cdot d\lambda = \int g_\lambda \cdot d\lambda = \int b_\lambda \cdot d\lambda = 1. \quad (1)$$

Jede Spektralfarbe ruft drei voneinander unabhängige Grundempfindungen r_λ, g_λ, b_λ hervor, von denen der Quotient $(b_\lambda - g_\lambda) : (g_\lambda - r_\lambda)$ für jede Wellenlänge λ eine bestimmte Zahl liefert.

Nach A. Koenig kann nun jede Farbe aufgefaßt werden als zusammengesetzt aus Weiß, das durch gleich starke Erregung der drei Grundempfindungen im Auge hervorgerufen wird, und aus einer beigemischten Spektralfarbe $\mathfrak{F}$ oder eine der Purpurfarben, die den grünen Spektralfarben komplementär sind. Die Farbe wird in die darin enthaltenen Mengen Grundrot R, Grundgrün G und Grundblau B zerlegt. Eine Farbe ist also charakterisiert durch die zu Weiß hinzutretende Spektralfarbe, die dieselbe Empfindung wie jene Farbe hervorruft. Das ist der Fall, wenn

$$(B - G) : (G - R) = (b_\lambda - g_\lambda) : (g_\lambda - r_\lambda) \quad (2)$$

und die Reihenfolge der Grundempfindungen R, G, B und r_λ, g_λ, b_λ ihrer Größe nach die gleiche ist. Andernfalls ergibt sich aus diesem Quotienten die zur Spektralfarbe von der Wellenlänge λ komplementäre Farbe. Um auch für die im Spektrum nicht vorhandenen Purpurfarben numerische Größen angeben zu können, wurden in vorliegender Abhandlung unter $\mathfrak{F}$ die Wellenlängen der diesen komplementären grünen Spektralfarben gesetzt, die zum Unterschiede von den Wellenlängen der grünen Farben selbst in Klammern geschlossen wurden.

Wird die Farbe nun spektral zerlegt, so sind die Intensitäten R_λ, G_λ, B_λ der Grundempfindungen in den Spektralanteilen durch deren Intensitäten I_λ gegeben durch

$$R_\lambda = r_\lambda \cdot I_\lambda, \quad B_\lambda = b_\lambda \cdot I_\lambda \text{ und } G_\lambda = g_\lambda \cdot I_\lambda. \quad (3)$$

Hieraus ergeben sich:

$$R = \int r_\lambda I_\lambda d\lambda, \; B = \int b_\lambda I_\lambda d\lambda \text{ und } G = \int g_\lambda I_\lambda d\lambda. \quad (4)$$

Bei Interferenzerscheinungen an vollkommen durchsichtigen Kristallen im polarisierten Licht ist I_λ mittels bekannter kristalloptischer Formeln zu finden, die nur die optischen Konstanten der vorliegenden Kristallart enthalten. Mit Hilfe von I_λ werden dann die Intensitäten R, G, B der Grundempfindungen für jede Interferenzfarbe numerisch berechnet.

Zur vollständigen Charakterisierung einer Farbe gehören aber noch die Angaben über ihren Helligkeitsgrad $\mathfrak{H}$ und den Sättigungsgrad $\mathfrak{S}$.

Nach obigem ergibt sich die Helligkeit $\mathfrak{H}_\lambda$ jedes Spektralanteils von der Intensität I_λ aus: $\mathfrak{H}_\lambda = h_\lambda I_\lambda$ und daraus die Gesamthelligkeit der Farbe

$$\mathfrak{H} = \int h_\lambda I_\lambda d\lambda, \quad (5)$$

worin h_λ aus den Werten zu entnehmen ist, die A. Koenig[1]) für helles Licht fand, und die so umgerechnet sind, daß

1) Th. Liebisch u. A. Wenzel, Berl. Ber. 1917, 1—22.

2) A. Koenig u. C. Dieterici, Berl. Ber. 1886, 805—829; Zeitschr. f. Psych. u. Phys. d. Sinnesorgane **4**, 241—347, 1892.

3) A. Wenzel, Diss., Berlin 1916 und N. Jahrb. f. Min., Beil. Bd. 1917.

4) B. Trolle, diese Zeitschr. **7**, 700—710, 1906.

5) Th. Liebisch u. A. Wenzel, a. a. O.

1) A. Koenig, Helmholtz-Festschrift, Hamburg 1891, 309—388; Ges. Abh. 1903, 144—213.

$$h = \sum_{400}^{700} h_\lambda \, \Delta\lambda = 1. \qquad (6)$$

Andererseits läßt sich $\mathfrak{H}$ aus den Werten R, G, B der Grundempfindungen linear zusammensetzen mit Koeffizienten $\mathfrak{r}, \mathfrak{g}, \mathfrak{b}$, die von λ unabhängig sind:

$$\mathfrak{H} = \mathfrak{r} R + \mathfrak{g} G + \mathfrak{b} B. \qquad (7)$$

Aus nach (5) für einen Quarzkeil berechneten Werten ergaben sich:

$$\mathfrak{r} = 0{,}822, \quad \mathfrak{g} = 0{,}161 \quad \text{und} \quad \mathfrak{b} = 0{,}017.$$

Soll die Helligkeit $\mathfrak{H}$ in Prozenten der Helligkeit des einfallenden Lichtes angegeben werden, so ist:

$$\mathfrak{H} = 82{,}2\, R + 16{,}1\, G + 1{,}7\, B. \qquad (8)$$

Die Menge Weiß einer Farbe ist bestimmt durch die dreifache kleinste Grundempfindung, die Gesamtempfindung durch: $R + G + B$ und die reine Farbenempfindung durch: $R + G + B -$ 3fache kleinste Grundempfindung. Daher kann die Sättigung $\mathfrak{S}$ einer Farbe bestimmt werden durch das Verhältnis der reinen Farbenempfindung zur Gesamtempfindung, oder:

$$\mathfrak{S} = \frac{R + G + B - \text{3fache kleinste Grundempf.}}{R + G + B} \qquad (9)$$

Nach den Formeln (4), (5) und (8) sind die Farbtöne $\mathfrak{F}$, Helligkeiten $\mathfrak{H}$ und Sättigungsgrade $\mathfrak{S}$ der Interferenzfarbenfolgen berechnet, die in einem Quarzkeil vom Keilwinkel $\alpha = 1^0 30'$ mit einer zur optischen Achse parallelen Eintrittsfläche im parallelstrahligen Licht in Diagonalstellung zwischen gekreuzten Nicols sowie unter gleichen Bedingungen an einem Quarzkeil vom Keilwinkel $\beta = 30^0$ mit einer zur optischen Achse senkrechten Eintrittsfläche berechnet und als Funktion des Abstandes von der Keilkante dargestellt[1]).

II. Quarzplatten parallel zur optischen Achse.

In der Interferenzfarbenfolge in einem Quarzkeil mit der Eintrittsfläche parallel zur optischen Achse im parallelstrahligen Licht in Diagonalstellung zwischen gekreuzten Nicols, die der Newtonschen Farbenskala in niederen Ordnungen bekanntlich sehr ähnlich ist, erscheint als empfindlichste Übergangsfarbe jenes Rot, das die erste Ordnung von der zweiten als schmales Band trennt. Die gleichen Farben höherer Ordnung nehmen einen breiteren Streifen ein, sind also nicht so empfindlich gegen einen geringen Wechsel der Dicke oder des Gangunterschiedes, wie das erste.

1) A. a. O., Fig. 5, S. 10 und Fig. 7, S. 15.

Dasselbe ergibt eine Analyse der früher durch Berechnung der Interferenzfarben gewonnenen Ergebnisse[1]). Dieses Rot erster Ordnung erscheint bei einer Dicke von ca. 55 μ. Um die Empfindlichkeit der Reihe von Übergangsfarben vom Rot erster Ordnung zum Blauviolett zweiter Ordnung näher untersuchen zu können, wurden diesen früheren Resultaten die Werte des Farbtons $\mathfrak{F}$, der Helligkeit $\mathfrak{H}$ und des Sättigungsgrades $\mathfrak{S}$ für die Keildicken von $d = 52\,\mu$ bis $d = 62\,\mu$ durch graphische Interpolation entnommen (Tab. I). Diese Werte $\mathfrak{F}$, $\mathfrak{H}$ und $\mathfrak{S}$ von Tab. I sind in Fig. 1 als Funktion der Keildicke graphisch dargestellt. Dabei ist, wie auch in allen folgenden Tabellen und Figuren, $\mathfrak{F}$ in $\mu\mu$, $\mathfrak{H}$ in Prozent der Helligkeit des einfallenden Lichtes und $\mathfrak{S}$ in Prozent der größtmöglichen Sättigung angegeben.

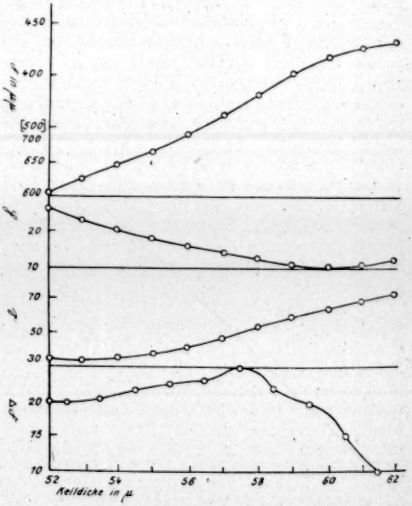


Fig. 1. Interferenzfarben in einem Quarzkeil mit einer Fläche parallel zur optischen Achse im parallelstrahligen Licht in Diagonalstellung zwischen gekreuzten Nicols.

Aus den so erhaltenen Kurven wie auch aus Tab. I ergibt sich, daß die Helligkeit $\mathfrak{H}$ in dem betrachteten Bereich, der die Übergangsfarben vom Rot erster Ordnung ($\mathfrak{F} = 655\ \mu\mu$) über Purpur zum Blauviolett zweiter Ordnung ($\mathfrak{F} = 455\ \mu\mu$) enthält, nur wenig abnimmt, während die Sättigung $\mathfrak{S}$ erheblich zunimmt. Die letztere ist schon an sich geeignet, wahrnehmbare Farben-

1) A. a. O., Fig. 5, S. 10.

Tabelle I.

Empfindliche Farben in einem Quarzkeil mit einer zur optischen Achse parallelen Eintrittsfläche im parallelen Licht zwischen gekreuzten Nicols (vgl. Fig. 1).

Keildicke d in μ	Farbton $\mathfrak{F}$ in $\mu\mu$	$\mathfrak{H}$ in Proz.	$\mathfrak{S}$ in Proz.	$\Delta\mathfrak{F}$ in $\mu\mu$
52	605	26	35	
53	625	24	34	20
54	645	20	36	20
55	667	18	38	22
56	690	16	42	23
57	(513)	14	48	23
58	(538)	12	56	25
59	410	11	60	22
60	430	10	65	20
61	445	11	70	15
62	455	12	73	10

unterschiede bei geringer Änderung der Keildicke hervorzurufen.

Der Farbenumschlag wird aber vor allem bestimmt durch den Wechsel des Farbtons $\mathfrak{F}$. Um ihn genauer verfolgen zu können, wurden noch die Differenzen je zweier aufeinander folgender Werte von $\mathfrak{F}$ gebildet und als $\Delta\mathfrak{F}$ in $\mu\mu$ für je ein μ Dickenzuwachs in die letzte Spalte von Tab. I eingetragen, sowie auch in Fig. 1 als Funktion der Keildicke graphisch dargestellt. Diese Werte $\Delta\mathfrak{F}$ liefern nun ein Maß für die Empfindlichkeit der Interferenzfarben gegen Änderungen des Gangunterschiedes zwischen der ordentlichen und der außerordentlichen Welle im Quarz oder, was auf dasselbe hinausläuft, gegen Dickenänderungen des Quarzkeils. Dabei ist zu bedenken, daß einer Dickenänderung von $1\ \mu$ eine Gangunterschiedsänderung von $0{,}0175\ \lambda_{Na}$ gleichkommt.

Eine Betrachtung der Fig. 1 zeigt, daß mit wachsender Keildicke anfangs ein dunkelroter Farbton $\mathfrak{F}$ auftritt, der zunächst langsam, dann bei größerer Keildicke schneller in Purpur und darauf in Blauviolett übergeht, wobei schließlich die Stärke des Farbenwechsels wieder abnimmt. Sie kommt in der Darstellung auch durch die Größe des Winkels zum Ausdruck, den die Tangente an der $\mathfrak{F}$-Kurve mit der d-Achse bildet und der durch $\frac{\Delta\mathfrak{F}}{\Delta d}$ bestimmt ist. Wird nun, wie es oben geschehen, $\Delta d = 1$ gewählt, so stellt $\Delta\mathfrak{F}$ allein die Empfindlichkeit der Farbe dar. Sie wird durch die unterste Kurve $\Delta\mathfrak{F}$ veranschaulicht. Sie steigt langsam an, bis sie bei $d = 57-58\ \mu$ ihr Maximum mit $\Delta\mathfrak{F} = 25\ \mu\mu$ erreicht hat und fällt dann schnell auf geringe Beträge.

Hieraus geht hervor, daß Quarzplatten parallel zur optischen Achse von $57{,}5\ \mu$ Dicke zur Erzeugung der empfindlichen Farben am günstigsten sind. Ihre Interferenzfarbe zwischen gekreuzten Nicols ist dann ein dunkles Purpur mittlerer Sättigung, das zu dem Spektralgrün von $513-538\ \mu\mu$ Wellenlänge komplementär ist. E. A. Wülfing hat als günstigste Plattendicke $63{,}117\ \mu$ angegeben, wobei ein Violett II. Ordnung entsteht, das, wie Fig. 1 erwarten läßt, nicht die höchste Empfindlichkeit zeigt.

III. Quarzplatten senkrecht zur optischen Achse.

Betrachtet man die Interferenzfarbenfolgen, die an einem der Cornuschen Doppelprismen eines Quarzspektrographen vom Keilwinkel $\beta = 30^0$ im parallelstrahligen Licht in Diagonalstellung zwischen gekreuzten Nicols auftreten, so erkennt man, daß sich als empfindliche Farbe dieser Reihe am besten auch hier das schmale Band vom Rot I. Ordnung eignet. Weniger zweckmäßig ist das der II. Ordnung, da die Übergänge zu den Nachbarfarben viel breiter sind und es auch erheblich matter als das Rot I. Ordnung ist. Dies ergab sich auch theoretisch gelegentlich der Berechnung dieser Farbenfolge nach der eingangs erwähnten Methode[1]). Hier erscheint das Rot I. Ordnung bei einer Keildicke von 7,5 mm.

Um auch diese Farbe auf ihre Empfindlichkeit gegen geringe Änderung des Gangunterschiedes oder der Keildicke zu untersuchen, wurden den eben erwähnten Ergebnissen früherer Berechnungen[1]) die Werte des Farbtons $\mathfrak{F}$, der Helligkeit $\mathfrak{H}$ und des Sättigungsgrades $\mathfrak{S}$ für mehrere Keildicken von 6,928 mm bis 7,9 mm durch graphische Interpolation entnommen (Tab. II). In Fig. 2 sind diese Werte von $\mathfrak{F}$, $\mathfrak{H}$ und $\mathfrak{S}$ als Funktion der Keildicke d graphisch dargestellt. Tab. II wie auch die Kurven Fig. 2 lassen deutlich erkennen, daß die Helligkeit $\mathfrak{H}$ in dem betrachteten Gebiet sich nur sehr wenig ändert. Der Sättigungsgrad $\mathfrak{S}$ nimmt dabei im ganzen um ca. 20 Proz. ab, am meisten bei 7,3 mm Keildicke. Dieser relativ starke Wechsel des Sättigungsgrades trägt mit dazu bei, geringe Änderungen der Keildicke oder des Gangunterschiedes dem Auge sichtbar zu machen.

Um den Farbenwechsel selbst zu veranschaulichen, wurde auch hier die Differenz $\Delta\mathfrak{F}$ je zweier aufeinanderfolgender $\mathfrak{F}$-Werte gebildet (Tab. II), die auch in Fig. 2 als Funktion der Keildicke d eingetragen ist (unterste Kurve).

Aus Tab. II wie auch aus Fig. 2 geht klar hervor, daß die höchste Empfindlichkeit der

1) A. a. O. Fig. 7, S. 15.

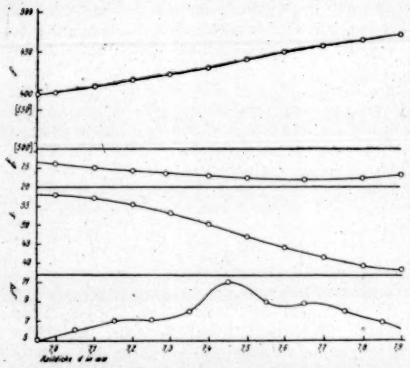


Fig. 2. Interferenzfarben in einem Quarzkeil mit einer Fläche senkrecht zur optischen Achse im parallelstrahligen Licht in Diagonalstellung zwischen gekreuzten Nicols.

Tabelle II.

Empfindliche Farben in einem Quarzkeil mit einer zur optischen Achse senkrechten Eintrittsfläche im parallelen Licht zwischen gekreuzten Nicols (vgl. Fig. 2).

Keildicke d in mm	Farbton $\mathfrak{F}$ in $\mu\mu$	$\mathfrak{H}$ in Proz.	$\mathfrak{S}$ in Proz.	$\Delta\mathfrak{F}$ in $\mu\mu$
6,928	(565)	27	59	
7,0	(570)	26	58	5
7,1	406	25	57	6
7,2	413	24	55	7
7,3	420	24	53	7
7,4	428	23	50	8
7,5	439	23	47	11
7,6	448	22	44	9
7,7	457	22	42	9
7,8	465	22	40	8
7,9	472	23	38	7

blauvioletten Interferenzfarbe bei 7,5 mm Keildicke zukommt, wie das in der Praxis bei den Soleilschen Quarzplatten dieser Dicke beobachtet wird.

Der Empfindlichkeitsgrad dieser Farbe gegen Änderung des Gangunterschiedes und der Nicolstellungen ergibt sich aus folgenden Angaben. Da einer Drehung des Analysators um 1^0 aus der Kreuzstellung zum Polarisator für Natriumlicht eine Dickenänderung von 0,042 mm oder umgekehrt 0,1 mm Dickenänderung einer Drehung des Analysators um $2{,}4^0$ gleichkommt, während die gleiche Dickenänderung einer Gangunterschiedsänderung von 0,0133 λ_N entspricht, so ergibt sich, daß diese Farbe einen geringeren Grad der Empfindlichkeit gegen Änderungen des Gangunterschiedes hat als das Rot I. Ordnung in achsenparallelen Quarzplatten, da dessen Empfindlichkeit $\Delta\mathfrak{F}$ mehr als doppelt so groß wie $\Delta\mathfrak{F}$ von Blauviolett II. Ordnung im Quarz senkrecht zur Achse ist. Empfindlicher dagegen ist das Blauviolett in den basischen Quarzplatten gegen geringe Nicoldrehungen. Diese Empfindlichkeit wird bekanntlich noch dadurch erhöht, daß man zwei oder mehr Platten gleicher Dicke von Rechts- und Linksquarz nebeneinander beobachtet, bei denen eine Drehung des Analysators eine Farbenänderung in entgegengesetzter Richtung bewirkt (Quarzplattenkombination von Soleil, Biot und Klein).

Zur Erkennung geringer Phasendifferenzen sind demnach achsenparallele Quarzplatten besser geeignet als die basischen.

Ist dagegen das Licht zu untersuchen, das an undurchsichtigen anisotropen Mineralien reflektiert ist, so ist zu bedenken[1]), daß bei dieser Reflexion nicht nur eine Phasenverschiebung wie bei jedem doppelbrechenden Medium, sondern auch ein Intensitätsunterschied in den beiden reflektierten Wellen hervorgerufen wird, deren Vereinigung zu einer Schwingung eine Drehung der Polarisationsebene zu der des einfallenden Lichtes zur Folge hat. Wie sich aus den obigen Daten ergibt, schlägt das Blauviolett II. Ordnung bei geringer Drehung der Polarisationsebene oder des Analysators in Purpur oder Blau um[2]).

Dies kann als Erklärung für den Unterschied und die verschiedenartige Verwendbarkeit der empfindlichen Farben in achsenparallelen und in basischen Quarzplatten dienen.

Eine basische Quarzplatte von 3,75 mm Dicke zwischen parallelen Nicols muß die gleiche Farbenerscheinung von gleicher Empfindlichkeit wie die von 7,5 mm Dicke zwischen gekreuzten Nicols zeigen, da die Interferenzerscheinung in einer Platte von der Dicke d zwischen gekreuzten Nicols zu der in einer Platte der halben Dicke zwischen parallelen Nicols komplementär ist.

IV. Gipsspaltungsplatten.

Eine vielseitige Verwendung als empfindliche Farbe findet bekanntlich auch das Rot I. Ordnung von Gipsspaltungsplatten, die sich in Diagonalstellung zwischen gekreuzten Nicols im parallelstrahligen Licht befinden. Eine Analyse der in einem Gipskeil auftretenden Interferenzfarben nach der im ersten Abschnitt mitgeteilten Methode liegt bisher noch nicht vor.

In einem Gipskeil mit der Eintrittsfläche parallel zur Hauptspaltungsebene erscheint zwischen gekreuzten Nicols im parallelstrahligen

1) Hierauf weist auch schon E. A. Wülfing im Anschluß an Koenigsberger und Pockels hin. A. a. O.

2) Diese Erscheinungen werden den Gegenstand einer späteren Untersuchung bilden.

Licht bekanntlich eine Farbenfolge, die der Newtonschen Skala sehr ähnelt, da die für die Beobachtungsrichtung in Betracht kommende Dispersion der Doppelbrechung $n_1 - n_3$ nur gering ist. In Tab. III sind Werte $n_1 - n_3$ für die Lichtarten einiger Fraunhoferscher Linien zusammengestellt, die sich aus den Messungen der Abstände je zweier Interferenzstreifen in einem Gipskeil im polarisierten Licht von W. König[1]) ergeben. Sie sind in Fig. 3 als Funktion der Wellenlänge λ dargestellt.

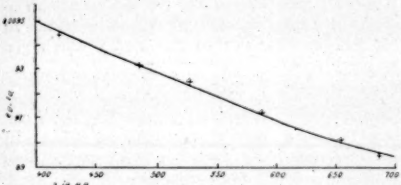


Fig. 3. Dispersion der Doppelbrechung $n_1 - n_3$ im Gips.

Tabelle III.

Dispersion der Doppelbrechung im Gips $n_1 - n_3$ und Keildicken d_0 der Kurve vom Gangunterschied $\Gamma = p \cdot \lambda$ ($p = 1$). (vgl. Fig. 3 und 4).

Spektrallinie	λ in $\mu\mu$	$n_1 - n_3$	d_0 in μ
A	760,4	0,00886	85,9
a	718,6	895	80,3
B	687,0	896	76,7
C	656,3	903	72,7
D	589,4	913	64,5
E	527,0	926	57,0
F	486,1	932	52,2
G	430,7	945	45,6
H_1	396,6	950	41,8

Mit Hilfe dieser Werte wurden dann die Keildicken d_0 berechnet, für die

$$d_0 = \frac{\lambda}{n_1 - n_3}.$$

Sie sind in Tab. III angegeben. In Fig. 4 sind die Werte $d = p \cdot d_0$ ($p = 1, 2, 3 \cdots p$) als Funktion der Wellenlänge dargestellt. Die so erhaltenen Kurven gleichen Gangunterschiedes $\Gamma = p \cdot \lambda$ weichen nur im violetten Gebiet des Spektrums wenig von geraden Linien, den Müllerschen Linien im Spektrum der Newtonschen Farben, ab, doch ist die Neigung derselben gegen die d-Achse etwas größer als die der Fig. 4. Daher weichen die Interferenzfarben in einem Gipskeil nur wenig von den

1) W. König, Wied. Ann. **69**, 1, 1899.

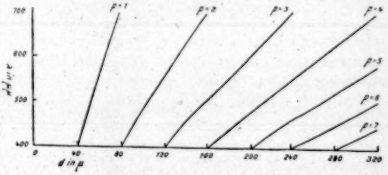


Fig. 4. Kurven gleichen Gangunterschiedes $\Gamma = p \cdot \lambda$ im Spektrum der Interferenzfarben in einem Gipskeil mit der Eintrittsfläche parallel zur Hauptspaltungsrichtung im parallelstrahligen Licht zwischen gekreuzten Nicols.

Newtonschen Farben ab. Bei einer Keildicke von ungefähr $d = 60\,\mu$ fehlen im Spektrum die gelben Lichtarten; folglich liegt hier der Übergang von der ersten zur zweiten Ordnung, der, wie die Beobachtung zeigt, durch einen schmalen Purpurstreifen gebildet wird. Das bei ca. $120\,\mu$ Keildicke auftretende Rot II. Ordnung sowie alle folgenden nehmen einen breiteren Raum ein, weshalb sie als empfindliche Farben weniger geeignet sind.

Die Interferenzfarben in einem Gipskeil im parallelstrahligen Licht in Diagonalstellung zwischen gekreuzten Nicols hat L. Pilgrim[1]) nach der Methode von Lord Rayleigh[2]) mit Hilfe der drei Maxwellschen Farbenkomponenten sowie auch nach den Formeln von E. Lommel[3]) berechnet. Seinen Resultaten sind die in Tab. IV wiedergegebenen Werte durch graphische Interpolation entnommen. Sie sind in Fig. 5 als Funktion der Keildicke graphisch dargestellt. Die Zusammenstellung der von Pilgrim berechneten und von Rollet beobachteten Farben ist nach dem Vorbilde von L. Pilgrim (vgl. dessen Tab. XIII S. 46) in Tab. IV eingetragen. Sie zeigt die gute Übereinstimmung zwischen den theoretischen Werten und den in natura beobachteten Farben.

Nach den $\mathfrak{H}$-Kurven in Fig. 5 liegt das Rot I. Ordnung bei einer Keildicke von $55\,\mu$. Da die Helligkeit $\mathfrak{H}$ an dieser Stelle am geringsten, der Sättigungsgrad $\mathfrak{S}$ aber am höchsten ist, haben wir hier die intensivste Farbe vor uns. Aus dem steilen Übergang der $\mathfrak{H}$-Kurve von den gelben ($d = 45\,\mu$) zu den blauen Farben ($d = 60\,\mu$) folgt ferner, daß schon eine geringe Dickenänderung genügt, um einen merklichen Farbenwechsel hervorzurufen. Das bei $d = 110\,\mu$ auftretende Rot II. Ordnung ist zwar auch dunkler ($\mathfrak{H}$) und gesättigter ($\mathfrak{S}$) als die umgebenden Farben, doch ist seine Helligkeit größer

1) L. Pilgrim, Beilage z. Programm der Realanstalt in Cannstatt, 1901.
2) Lord Rayleigh, Phil. Transactions Edinb. R. S. 1886, 157.
3) E. Lommel, Wied. Ann. **43**, 473, 1891.

Tabelle IV.

Interferenzfarben in einem Gipskeil mit einer zur Spaltungsfläche parallelen Eintrittsfläche im parallelstrahligen Licht zwischen gekreuzten Nicols (vgl. Fig. 5).

Ordnung	Dicke d in μ	Farbton $\mathfrak{F}$ in $\mu\mu$	$\mathfrak{H}$ in Proz.	$\mathfrak{S}$ in Proz.	Farben berechnet	Farben beobachtet
I	10	504	38	0,5	bläulich Schwarz	Schwarz
	20	540	85	1	sehr hell Gelbgrün	Weiß
	30	567	96	8	Gelb	Hellgelb
	40	583	62	55	Gelb	Orange-gelb
	50	604	8	85	Fleischrot	Rot
II	60	460	14	73	Blau	Indigo
	70	480	51	54	Cyanblau	hell Himmelblau
	80	540	80	28	Gelbgrün	Hellgrün
	90	578	76	46	Gelb	Gelb
	100	608	46	62	Rotorange	Rot
III	110	400	27	68	Purpur-violett	Purpur
	120	476	34	60	Cyanblau	Blau
	130	501	54	42	Blaugrün	Grün
	140	558	66	55	Gelbgrün	Grün
	150	596	62	53	Orange	falbes Gelb
IV	160	(505)	47	48	Purpur	matt Purpur
	170	460	39	35	Blauviolett	Graublau
	180	506	42	25	bläul. Grün	Meergrün
	190	526	53	34	bläul. Grün	(Grau)-Grün
	200	583	58	14	Grüngelb	(Grau)-Grün

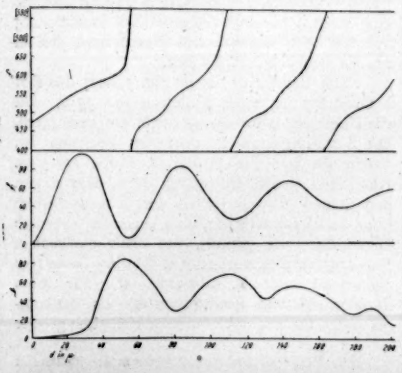


Fig. 5. Interferenzfarben in einem Gipskeil im parallelstrahligen Licht in Diagonalstellung zwischen gekreuzten Nicols I.

und sein Sättigungsgrad erheblich geringer als $\mathfrak{H}$ und $\mathfrak{S}$ vom Rot I. Ordnung. Zudem ist auch der Übergang der Farben von Gelb ($d = 90\,\mu$) zu Blau ($d = 120\,\mu$) ein langsamerer, wie auch die Neigung der $\mathfrak{F}$-Kurven zur d-Achse zeigt. Aus diesen Gründen ist es, wie aus der Praxis bekannt, weit weniger empfindlich gegen Gangunterschiedsänderungen wie das Rot I. Ordnung. Dasselbe trifft in erhöhtem Maße für das Rot III. Ordnung bei $d = 165\,\mu$ zu, wie eine Betrachtung der Fig. 5 erkennen läßt.

Die Empfindlichkeit des Rot I. Ordnung im Gips soll nun ebenso wie die der gleichen Farben in Quarz näher untersucht werden. Zu diesem Zwecke wurden aus Fig. 5 durch gra-

Tabelle V.

Empfindliche Farben an einem Gipskeil mit einer Fläche parallel zur Spaltungsfläche im polarisierten Licht zwischen gekreuzten Nicols (vgl. Fig. 6).

Keildicke d in μ	Farbton $\mathfrak{F}$ in $\mu\mu$	$\mathfrak{H}$ in Proz.	$\mathfrak{S}$ in Proz.	$\Delta\mathfrak{F}$ in $\mu\mu$
50	605	11	84	
51	610	9	84	5
52	625	7	83,5	15
53	645	6	83	20
54	670	6	82	25
55	700	7	81	30
56	(540)	8	80	40
57	410	9	78	40
58	440	10	77	30
59	455	12	75	15
60	460	14	74	5

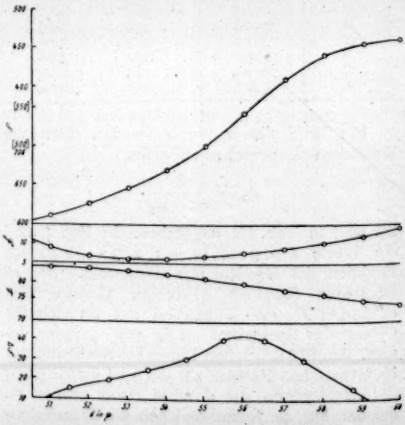


Fig. 6. Interferenzfarben in einem Gipskeil im parallelstrahligen Licht in Diagonalstellung zwischen gekreuzten Nicols II.

phische Interpolation Werte des Farbtons $\mathfrak{F}$, der Helligkeit $\mathfrak{H}$ und des Sättigungsgrades $\mathfrak{S}$ für die Keildicken von 50—60 μ entnommen. Nach Tab. V wurden sie in Fig. 6 als Funktion der Keildicke d graphisch dargestellt. In dem betrachteten Gebiet ändert sich die Helligkeit $\mathfrak{H}$ ebensowenig wie ihr Sättigungsgrad $\mathfrak{S}$. Die $\mathfrak{F}$-Kurve dagegen steigt mit zunehmender Keildicke an. Am steilsten ist sie zwischen 55 μ und 57 μ Keildicke. Dort liegt also offenbar die größte Empfindlichkeit der Interferenzfarben. Um auch ihren Verlauf veranschaulichen zu können, ist wiederum die Differenz $\Delta\mathfrak{F}$ aus je zwei aufeinanderfolgenden $\mathfrak{F}$-Werten gebildet worden. Sie sind in Fig. 6 ebenfalls als Funktion der Keildicke eingetragen. Aus dieser Kurve ergibt sich, was auch aus der $\mathfrak{F}$-Kurve indirekt zu ersehen ist, daß die Schnelligkeit des Farbenwechsels mit zunehmender Keildicke d anfangs zunimmt, bei 56 μ ihren höchsten Wert erreicht und dann wieder abnimmt. Jene Purpurfarbe, die dem Spektralgrün von der Wellenlänge $\lambda = 540\,\mu\mu$ komplementär ist, ist demnach diejenige, die die höchste Empfindlichkeit gegen geringe Dicken oder Gangunterschiedsänderungen aufweist. Der Grad dieser Empfindlichkeit geht aus dem Umstande hervor, daß ein μ Dickenänderung einer Gangunterschiedsänderung von 0,0175 λ_{Na} entspricht.

Zusammenfassung.

Aus obigen Ausführungen ergibt sich somit folgendes.

Wie die spektrale Zerlegung der Interferenzfarben in einem Gipskeil zeigt (Fig. 4) und auch die der Quarzfarben[1]) erkennen lassen, treten die empfindlichsten Farben stets da auf, wo die hellsten Farben des Spektrums ausgelöscht sind. So fehlen in dem empfindlichsten Rot I. Ordnung im Gips und im achsenparallelen Quarz die Lichtarten zwischen den Fraunhoferschen Linien E und D und in dem Blauviolett II. Ordnung in den basischen Quarzplatten das Licht der D-Linien.

Die gegen geringe Gangunterschiedsänderungen empfindlichste Farbe liefert ein Gipsblättchen von 56 μ Dicke im parallelstrahligen Licht in Diagonalstellung zwischen gekreuzten Nicols. Als Interferenzfarbe erscheint ein Purpur, das bis auf den Sättigungsgrad $\mathfrak{S}$ zu dem Spektralgrün von 540 $\mu\mu$ Wellenlänge komplementär ist. Etwas geringer ist die Empfindlichkeit der Interferenzfarbe in einer Quarzplatte, die parallel zur optischen Achse geschnitten ist. Bei einer Dicke von 57,5 μ ist nahezu die gleiche Purpurfarbe zu beobachten wie im Gips, doch ist sie beim Quarz heller und weniger gesättigt. Die Ursache dieses Unterschiedes ist in der zwar geringen Abweichung der Dispersion der Doppelbrechung $\varepsilon - \omega$ im Quarz von der $n_1 - n_2$ im Gips zu suchen.

Ein Vergleich der Empfindlichkeit dieser beiden Interferenzfarben ist ohne Bedenken zulässig, da der Unterschied beider Farbtöne kaum merklich ist (ca. 15 $\mu\mu$). Anders liegt es mit der empfindlichen Farbe im senkrecht zur optischen Achse geschnittenen Quarz. Hier liegt der für $d = 7{,}5$ mm Plattendicke berechnete Farbton $\mathfrak{F}$ im violetten Teil des Spektrums (ca. 439 $\mu\mu$). Ein Vergleich dieser Farben mit den oben erwähnten scheint nicht statthaft zu sein. Zwar ist die Empfindlichkeit unseres Auges in der Wahrnehmung der Farbenunterschiede bei geringen Wellenlängenänderungen der Spektralfarben bekannt und damit auch die Tatsache, daß das Auge im Violett gegen geringe Farbenänderungen unempfindlicher ist als beispielsweise im gelben Teile des Spektrums. Ob sich aber für die Purpurfarben die gleiche Empfindlichkeit wie für die violetten annehmen läßt, ist wohl nicht quantitativ bestimmt.

Die Verschiedenheit der Interferenzfarben im Quarz in den beiden ausgezeichneten Richtungen ist eine Folge des Unterschiedes der Dispersion der Doppelbrechung $\varepsilon - \omega$ von der Dispersion des Drehungsvermögens ϱ (vgl. hierüber Berl. Ber. 1917, bes. S. 18ff.).

Brandenburg (Havel), im August 1917.

(Eingegangen 8. August 1917.)

1) A. a. O. Fig. 3, S. 8 und Fig. 6, S. 14.

Über eine neue Sekundärstrahlung der Kanalstrahlen[1]).

Von M. Wolfke.

Einleitung.

Vor einigen Jahren haben Chadwick und Russell[2]) die wichtige Tatsache entdeckt, daß α-Strahlen imstande sind die charakteristische γ-Strahlung schwerer Elemente zu erregen.

Ob auch die Kanalstrahlen diese Fähigkeit besitzen, war bis heute nicht bekannt. Diese Frage ist aber von großem Interesse. Wenn sich nämlich herausstellt, daß die Kanalstrahlen die Röntgenspektra zu erregen vermögen, ist uns dadurch die Möglichkeit gegeben, den Ein-

1) Vorgetragen in der Jahresversammlung der Schweiz. Naturforsch. Ges. in Zürich, am 11. Sept. 1917.

2) J. Chadwick, Phil. Mag. (6) **24**, 594, 1912; **25**, 193, 1913; J. Chadwick u. A. S. Russell, Proc. Roy. Soc. (A) **88**, 217, 1913; A. S. Russell u. J. Chadwick, Phil. Mag. (6) **27**, 112, 1914.

fluß der Natur der erregenden Teilchen auf den Erregungsvorgang näher zu untersuchen, da wir bei den Kanalstrahlen sowohl die chemische Natur, als auch den Ladungszustand der Teilchen in weiten Grenzen variieren können. Eine solche Untersuchung würde uns einige wichtige Aufschlüsse über den Mechanismus der Erregung und der Emission der Röntgenspektra geben.

Von diesem Standpunkte aus habe ich mir die Aufgabe gestellt, die Frage zu prüfen, ob die Kanalstrahlen imstande sind, die charakteristische Röntgenstrahlung zu erregen.

J. J. Thomson[1]) beobachtete, daß die Kanalstrahlen beim Aufprallen auf ein Platinblec eine äußerst weiche Strahlung erzeugen. Daß es sich dabei nicht um die charakteristische Strahlung von Platin handeln kann, ist ohne weiteres klar, da die erzeugte Strahlung so weich war, daß sie durch dünnste Schichten von Kollodium, Aluminium usw. vollständig absorbiert wurde. Diese Erscheinung dürfte die Bremsstrahlung der Kanalionen gewesen sein; man kommt durch eine einfache Rechnung tatsächlich zu einer so weichen Strahlung, wenn man die sehr plausible Annahme macht, daß die Größenordnung der Atomkräfte, die bei der Bremsung eines Ions wirksam sind, die gleiche ist, wie diejenige bei der Bremsung eines Elektrons.

Die Tatsache, daß Thomson bei seinem Versuch die charakteristische Strahlung von Platin nicht erhalten hat, spricht durchaus noch nicht gegen die Möglichkeit, diese Strahlung durch Kanalteilchen zu erregen, und zwar aus folgendem Grunde:

Die Einsteinsche Quantenbeziehung zwischen der Energie des auffallenden Elektrons und der erregten Frequenz wurde neuerdings durch die Versuche an der Coolidgeröhre mit großer Sicherheit bestätigt[2]), und zwar gibt diese Beziehung nicht die erregte Frequenz selbst, sondern die untere Grenze für die zur Erregung der Strahlung notwendige Energie in der Form

$$\varepsilon > h\nu$$

an. Dabei hat sich bei der charakteristischen Strahlung ergeben, daß die Linien der K-Serie alle gleichzeitig erst dann erregt werden, wenn die obige Beziehung für die höchste Frequenz der Serie erfüllt ist. Die Einsteinsche Quantenbeziehung gilt jedoch nicht nur für die Emission der Röntgenspektra, sondern besitzt eine allgemeinere Bedeutung[1]). Es ist deshalb mehr als wahrscheinlich, daß sie auch bei der ev. Erregung der Röntgenspektra durch Kanalstrahlen ihre Gültigkeit beibehält. Unter dieser Voraussetzung ergibt sich als untere Grenze für die zur Erregung der L-Serie von Platin notwendige Geschwindigkeit eines Wasserstoffions der Wert ca. $1{,}7 \cdot 10^8$ cm/sec, da die kleinste Wellenlänge von Platin $L\gamma_4 = 0{,}9 \cdot 10^{-8}$ cm ist[2]). Thomson schätzt die Geschwindigkeit seiner Kanalstrahlen auf ca. $2 \cdot 10^8$ cm/sec. Auf diese Weise ist es sehr gut möglich, daß der zur Erregung der L-Serie von Platin notwendige Schwellenwert der kinetischen Energie in diesem Falle noch nicht erreicht wurde, vor allem, da wir darüber nichts wissen, um wieviel die kinetische Energie eines Kanalteilchens die Energie $h\nu$ übertreffen muß, um die Erregung zu bewirken.

Obgleich bis jetzt die Erregung der charakteristischen Röntgenstrahlung durch Kanalstrahlen noch nie beobachtet worden ist, so sehen wir aus dem Obigen, daß keine Tatsachen vorliegen, die einer solchen Erscheinung im voraus widersprechen würden.

Versuchsmethode und Anordnung.

Um die oben genannte Frage zu entscheiden, habe ich eine analoge Methode angewandt, wie sie Chadwick[3]) bei der Entdeckung der Erregung der γ-Strahlen durch α-Strahlen benutzte.

Ein breites Kanalstrahlenbündel fällt auf eine Öffnung, die in zwei Hälften geteilt ist, welche mit Folienstücken aus einem schweren Metall, z. B. Zinn oder Blei, und einem leichten Metall, z. B. Aluminium, bedeckt sind. Auf der einen Hälfte liegt die Folie des schweren Metalls voran, hinter der sich die Aluminiumfolie befindet, auf der anderen Hälfte liegen gleiche Folien, aber in umgekehrter Reihenfolge. Hinter den Folien befindet sich eine photographische Röntgenplatte.

Auf diese Weise trifft der Kanalstrahl auf der einen Hälfte der Öffnung die Folie des schweren Metalls und auf der anderen Hälfte eine Aluminiumfolie. Die charakteristische Strahlung des schweren Metalls ist intensiver und härter, als die des Aluminiums und gelangt nur wenig geschwächt zur photographischen Platte. Die schwache und leicht absorbierbare Strahlung

1) J. J. Thomson, Phil. Mag. (6) **28**, 620, 1914.
2) W. Duane u. F. L. Hunt, Phys. Rev. **6**, 166, 1915; E. Rutherford, J. Barnes u. H. Richardson, Phil. Mag. (6) **30**, 339, 1915; D. L. Webster, Proc. Amer. Nat. Acad. **2**, 90, 1916.

1) Vgl. z. B. beim Photoeffekt R. A. Millikan, Phys. Rev. 1916 u. diese Zeitschr. **17**, 217, 1916.
2) M. Siegbahn, Jahrb. d. Rad. u. Elektr. **13**, 296, 1916. Vgl. Tab. VI, S. 328.
3) J. Chadwick, Phil. Mag. (6) **25**, 193, 1913.

von Aluminium wird dagegen stark durch die dahinterliegende Schicht des schweren Metalls absorbiert. Wenn also die Kanalstrahlen die charakteristische Röntgenstrahlung des schweren Metalls erregen, so wird die Schwärzung der photographischen Platte auf der Hälfte, wo sie das schwere Metall treffen, stärker sein, als auf der anderen Hälfte, wo sie auf Aluminium auffallen. Dieser Schwärzungskontrast der beiden Hälften wird umso ausgeprägter sein, je stärker die charakteristische Strahlung erregt wird.

Das zu diesen Versuchen benutzte Kanalrohr ist in Fig. 1 dargestellt.

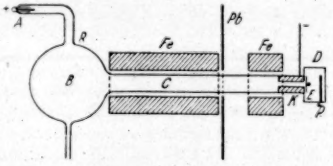


Fig. 1.

Die Anode A ist an die Kugel B (170 mm Durchmesser) angesetzt. Die im Rohr C (44 mm Durchmesser und 400 mm lang) erzeugten Kanalstrahlen passieren den in Eisen gebohrten Kanal K (10 mm Durchmesser und 60 mm lang) und gelangen in die Messingkamera D, wo sie die Kassette P mit den Folien und der Röntgenplatte treffen. Die photographische Platte („Agfa"-Röntgenplatte, zugeschnitten auf 45 mm $\times$ 60 mm) befindet sich in einer lichtdichten Kassette, deren vordere Seite aus zwei übereinanderliegenden Messingplatten (1 mm dick) besteht, welche aufeinandertreffende kreisrunde Öffnungen von dem Durchmesser des Kanals K (10 mm) besitzen. Diese Öffnungen sind durch Messingstäbchen in zwei Hälften geteilt; die oben erwähnten Folien werden zwischen die Messingplatten und Stäbchen eingepreßt (vgl. Fig. 2), wobei sie die Gelatineschicht der photo-

Fig. 2.

graphischen Platte nicht berühren. Zwischen dem Kanalende und der Kassette P ist ein Abstand von 32 mm. Der Kanal kann von außen elektromagnetisch durch das Vorschieben einer 1 mm starken Aluminiumplatte E geschlossen werden. Die Kugel B befindet sich zwischen den Polschuhen eines Elektromagneten, der ermöglicht, die aus dem Rohr C kommenden Kathodenstrahlen nach oben in die Gegend von R abzulenken, wodurch die dort entstehenden Röntgenstrahlen verhindert werden, direkt durch den Kanal K in die Kamera D zu gelangen. Die Abschirmung dieser Röntgenstrahlen wird außer durch den Bleischirm Pb noch durch die durchbohrten Eisenblöcke Fe, Fe, die das Rohr C umgeben, um den Entladungsvorgang vor der Streuung der Magnetfelder zu schützen, bewerkstelligt. Die Kamera D befindet sich zwischen den Polschuhen eines Elektromagneten, durch den man in der Kassette eine Feldstärke bis ca. 140 Gauß herstellen kann.

Zur Erzeugung der Kanalstrahlen wurde ein starkes Induktorium mit Wehneltunterbrecher, oder eine 11 Platten-Influenzmaschine benutzt. Bei Anwendung des Induktoriums habe ich in Serie mit dem Kanalrohr ein Vakuumventilrohr und zwei Funkenstrecken (Spitze gegen Platte) als Gleichrichter benutzt. Auch die Influenzmaschine wurde mit einem Vakuumventilrohr in Serie geschaltet, um gegen ev. Polwechsel gesichert zu sein. Das Entladungspotential wurde annähernd durch eine zum Kanalrohr parallel geschaltete Funkenstrecke zwischen zwei gleichen Kugeln von 15,5 mm Radius gemessen. Zur Herstellung des Vakuums habe ich eine Quecksilber-Gaedepumpe mit einer Kapselpumpe als Vorvakuum benutzt. Der Druck wurde mit einem Mac-Leodschen Manometer gemessen.

Diskussion der Fehlerquellen.

Da es sich hier darum handelt, die Existenz eines neuen Effektes zu beweisen, so wollen wir im folgenden alle möglichen Fehlerquellen, die diesen Effekt vortäuschen könnten, sehr genau untersuchen.

Gegen Lichtstrahlen und ultraviolette Strahlen, die durch den Kanal in die Kamera eindringen konnten, war die photographische Platte durch die von allen Seiten lichtdichte Kassette vollkommen geschützt.

Die benutzten Folienstücke waren immer sorgfältig untersucht. Ihre Dicke war zusammen größer als 0,02 mm, so daß die Kanalstrahlen zu der photographischen Platte nicht gelangen konnten.

Direkte Röntgenstrahlen waren, wie oben erwähnt, abgeschirmt. Die zerstreuten Röntgenstrahlen konnten, wie ein Versuch gezeigt hat, nur eine schwache und gleichmäßige Schwär-

zung auf beiden Hälften der mit Folien bedeckten Öffnung hervorrufen, so daß sie auf keinen Fall den erwarteten Effekt vortäuschen konnten.

Die einzigen Strahlen, die einen Kontrast in der Schwärzung der beiden Hälften der Öffnung erzeugen würden, sind die Elektronenstrahlen, da sie selbst imstande sind, die charakteristische Röntgenstrahlung zu erregen.

Es wurde darum eine große Sorgfalt darauf verwandt, diese Fehlerquelle vollständig auszuschließen, wie aus folgendem zu ersehen ist.

Bei den Aufnahmen mit dem Induktorium war nicht ausgeschlossen, daß im Falle einer ev. unvollständigen Gleichrichterwirkung langsame Striktionskathodenstrahlen aus dem Rohr C (Fig. 1) in die Kamera einzudringen vermochten. Deshalb wurde bei diesen Aufnahmen ein Magnetfeld von ca. 140 Gauß in der Kamera D hinter dem Kanal erzeugt. Eine einfache Rechnung zeigt, daß dieses Feld genügt, um Kathodenstrahlen bis zu einer Geschwindigkeit von 50,000 Volt Gefälle von der mit Folien bedeckten Öffnung in der Kassette abzulenken.

Bei Verwendung der Influenzmaschine war eine Umkehrung der Stromrichtung ausgeschlossen.

Die Wirkung der durch die Röntgenstrahlen im Rohr erzeugten sekundären Kathodenstrahlen, die teilweise durch den Kathodenfall abgehalten und teilweise durch das hinter dem Kanal liegende Magnetfeld abgelenkt werden, ist vollständig zu vernachlässigen, wenn man sich vergegenwärtigt, daß ihre Energie auf jeden Fall geringer sein wird, als die Energie der sie auslösenden Röntgenstrahlung[1]), und, daß sie an den Folien nur eine, im Verhältnis zu ihrer eigenen Intensität ca. $1000 \times$ schwächere[2]), Röntgenstrahlung erzeugen können.

Die durch die Kanalstrahlen im Kanal selbst erzeugten sekundären Elektronenstrahlen wurden durch das Magnetfeld hinter dem Kanal in der Kamera von der Kassette abgehalten. Dieses Magnetfeld hatte bei den Aufnahmen mit Influenzmaschine mehr als 20 Gauß und bei denen mit Induktorium 140 Gauß. Eine leichte Rechnung zeigt, daß die schnellsten Sekundärstrahlen, deren Geschwindigkeit nach Füchtbauer[3]) $3{,}5 \cdot 10^8$ cm/sec beträgt, im Magnetfeld von 20 Gauß einen Kreis von ca. 10 mm Radius beschreiben, also bei dem Abstand 32 mm zwischen Kanalende und Kassette die letztere nicht zu erreichen vermögen.

Um den Einfluß des ev. Unterschiedes in der Dicke der Folien auf den beiden Hälften der Öffnung zu eliminieren, habe ich zu jeder Aufnahme eine Kontrollaufnahme mit den gleichen Folien in umgekehrter Reihenfolge ihrer Lage gemacht.

Damit hoffe ich alle in Betracht kommenden Fehlerquellen berücksichtigt zu haben.

Versuchsergebnisse.

Vor allem wurde die Intensitätsverteilung im Kanalstrahlbündel durch eine direkte Aufnahme der Kanalstrahlen auf eine Diapositivplatte untersucht. Die Intensität der Kanalstrahlen war so groß, daß schon nach drei Sekunden Exposition ein Solarisationsfleck von 11 mm Durchmesser mit Umkehrung[1]) in der Mitte entstand. Um eine zu starke Erwärmung der Folien durch diese starken Kanalstrahlen zu verhindern, wurde stets kurze Zeit mit Unterbrechungen exponiert.

Ich habe zwei Metalle: Zinn und Blei untersucht. Die Folien hatten folgende Dicken: Zinn — 0,016 mm, Blei — 0,028 mm und die benutzte Aluminiumfolie — 0,007 mm.

Es hat sich herausgestellt, daß beide Metalle unter der Wirkung der Kanalstrahlen eine ziemlich intensive, durchdringende Strahlung emittieren, die vermutlich ihre charakteristische Röntgenstrahlung ist.

Zinn. Bei Versuchen mit Zinn gaben alle Aufnahmen ohne Ausnahme einen sehr starken Kontrast, d. h. eine starke Schwärzung auf der Hälfte, wo die Kanalstrahlen die Zinnfolie trafen nebst einer nur schwachen Schwärzung auf der anderen Seite (vgl. Fig. 3), was mit dem erwarteten Effekt im Einklang steht.

Fig. 3.

Hiervon wurden mehrere Aufnahmen, sowohl mit Induktorium, als auch mit Influenzmaschine ausgeführt. Die Expositionszeiten wurden zwischen 2,5′ bis 22′, das Potential zwischen 25 mm

1) Vgl. W. Wien, Ann. d. Phys. (4) **18**, 1003, 1905 und neuerdings E. Hoepner, Ann. d. Phys. (4) **46**, 577, 1915.

2) Vgl. W. Wien, Ann. d. Phys. (4) **18**, 991, 1905 und neuerdings R. T. Beatty, Proc. Roy. Soc. (A) **89**, 314, 1914; E. Rutherford u. J. Barnes, Phil. Mag. (6) **30**, 361, 1915.

3) Ch. Füchtbauer, diese Zeitschr. **7**, 748, 1906 und neuerdings H. Bärwald, Ann. d. Phys. (4) **41**, 643, 1913.

1) Vgl. M. Wolfke, Verh. d. D. Phys. Ges. **19**, 111, 1917.

bis 40 mm Funkenstrecke und der Druck zwischen 0,0007 mm *Hg* bis 0,0037 mm *Hg* variiert.

Die hier reproduzierte Aufnahme (Fig. 3) habe ich bei Verwendung der Influenzmaschine mit 22′ Expositionszeit, 25 mm bis 30 mm Funkenstrecke und bei 0,0037 mm *Hg* Druck erhalten[1]).

Blei. Die Aufnahmen mit Bleifolien bei kleineren Entladungspotentialen von 25 mm bis 40 mm Funkenstrecke haben nur eine schwache auf beiden Hälften gleichmäßige Schwärzung ergeben. Nur eine Aufnahme bei einer Entladungsspannung von 45 mm Funkenstrecke zeigte in der Schwärzung der beiden Hälften einen deutlichen und starken Kontrast. Dabei trat die starke Schwärzung auf der Hälfte ein, wo die Kanalstrahlen die Bleifolie trafen und nur in der nächsten Umgebung des Punktes, wo das Maximum der Intensität der Kanalstrahlen liegen mußte.

Diese letzte Aufnahme spricht dafür, daß auch bei dieser Erscheinung ein Schwellenwert für die zur Erregung notwendige Energie vorhanden sein muß.

Die Einsteinsche Quantenbeziehung gestattet uns eine Vermutung über die erregten Wellenlängen auszusprechen. Wir berechnen die Entladungsspannungen, die nach Quantenbedingung als untere Grenze zur Erregung der *K*-Serie und *L*-Serie von Zinn und Blei notwendig sind, indem wir annehmen, daß die Hälfte des Entladungspotentials zur Beschleunigung der Kanalteilchen ausgenutzt wurde[2]).

Es ergeben sich folgende Werte:

Für $K\beta_1$ von Zinn ($\lambda = 0{,}432 \cdot 10^{-8}$ cm) mehr als 57 K.-V,
für $L\gamma_4$ von Zinn ($\lambda = 2{,}831 \cdot 10^{-8}$ cm) ca. 8,7 K.-V. und
für $L\gamma_4$ von Blei ($\lambda = 0{,}792 \cdot 10^{-8}$ cm) ca. 31 K.-V.[3]).

Das bei den Versuchen benutzte größte Entladungspotential war 45 mm Funkenstrecke, bei 15,5 mm Radius der Kugeln, was nach den Messungen von C. Müller[4]) einer Spannung kleiner als 50 K.-V. entspricht. Von diesem Standpunkt aus konnte in unserem Falle die *K*-Serie nicht erregt werden und es ist wahrscheinlich, daß die durch die Kanalstrahlen hier erregten Wellenlängen zu der *L*-Serie der beiden Elemente gehören.

Ich behalte mir die genaue Untersuchung der Wellenlängen und der Eigenschaften dieser neuen Strahlung vor und werde demnächst darüber berichten.

Zusammenfassung.

1. Es wurde zum erstenmal die Erregung einer durchdringenden Strahlung durch die auffallenden Kanalstrahlen beobachtet. Dieser Effekt wurde bei Zinn und bei Blei photographisch festgestellt und dürfte die charakteristische Röntgenstrahlung dieser Elemente sein.

2. Bei Blei wurde ein Schwellenwert für die zur Erregung notwendige Entladungsspannung beobachtet.

3. Auf Grund der Einsteinschen Quantenbedingung ist wahrscheinlich, daß es sich bei dem neuen Effekt um die Erregung der Linien der *L*-Serie der beiden Elemente handelt.

Zürich, Phys. Inst. d. Eidg. Techn. Hochschule, August 1917.

(Eingegangen 31. August 1917.)

1) Die Platte wurde mit Rodinal 1/25 ohne Verstärker entwickelt.

2) Vgl. W. Wien, Ann. d. Phys. (4) **33**, 925, 1910; T. Retschinsky, Ann. d. Phys. (4) **50**, 369, 1916.

3) Vgl. M. Siegbahn, l. c. Tab. V, S. 325 u. Tab. VI, S. 327 u. 328.

4) C. Müller, Ann. d. Phys. (4) **28**, 585, 1909.

Die Atomanordnung von Wolfram.

Von P. Debye.

Vor einiger Zeit erhielt ich einige Proben Wolframpulver mit der Bitte, dieselben nach der von Scherrer und mir angegebenen Methode auf ihre eventuelle kristallinische Struktur zu untersuchen. Die Aufgabe schien mir deshalb interessant, weil das Wolfram mit dem Atomgewicht 184 und einer Dichte von etwa 19 die bei unseren Versuchen benutzte, verhältnismäßig langwellige, monochromatische Röntgenstrahlung außerordentlich stark absorbiert. Infolgedessen kommt für die Erzeugung der zu photographierenden Interferenzen nur eine Oberflächenschicht des Präparats in Betracht, deren Dicke auf einige Tausendstel mm geschätzt werden kann, so daß es fraglich erschien, ob die Interferenzlinien in genügender Stärke entstehen würden. Diese Befürchtung hat sich indessen als grundlos erwiesen. Die Expositionen wurden in dankenswerter Weise ausgeführt von Frl. Dr. E. Becker mit teilweiser Unterstützung von Frl. Clausen, und zwar mit Platinstrahlung. Auf den erhaltenen Aufnahmen sind die Interferenzlinien bis zu einem Ablenkungswinkel ϑ von nahezu 180° zu verfolgen, gemessen gegen die Fortschreitungsrichtung des Primärstrahls. Auch hier treten, wie in unseren früheren Diagrammen, also ohne weiteres, Reflexionen auf bei annähernd senkrechter Inzidenz auf die zugehörigen Kristallflächen. Von einer Reproduktion der Diagramme

nehme ich Abstand, weil dieselben in ihrem allgemeinen Aussehen ja nicht von den nunmehr schon verschiedentlich von uns reproduzierten Aufnahmen abweichen. Trotzdem es anfänglich beabsichtigt war, die Aufnahmen lediglich zu verwenden um festzustellen, ob alle Präparate kristallinisch waren und ob Unterschiede zwischen den verschiedenen Proben vorhanden waren, und deshalb weniger Sorgfalt auf die Justierung verwendet wurde, zeigte sich, daß die Diagramme vollständig ausreichen, um die Struktur des Wolframs zu bestimmen. Im folgenden möchte ich deshalb über die Messungen und das anschließende Resultat berichten. Vorweg genommen lautet dasselbe:

Wolfram kristallisiert kubisch; der Elementarbereich ist ein raumzentrierter Würfel mit einer Kantenlänge von $3{,}18 \cdot 10^{-8}$ cm[1]).

Messungen und Struktur.

Die folgende Zusammenstellung enthält das Resultat der Messungen:

$\sin\frac{\vartheta}{2} =$				
0,260	**0,302**	0,343	**0,421**	0,436
m-s	st	ss	m	sss
0,490	**0,512**	0,560	**0,590**	0,625
sss	st	sss	m	sss
0,658	**0,720**	0,745	**0,777**	0,790
st	m-s	sss	st	sss
0,829	**0,877**	0,900	**0,923**	**0,970**
s	st	s	st	st

Die Größe ϑ bedeutet dabei den Ablenkungswinkel, gemessen gegen die Fortpflanzungsrichtung des Primärstrahls. Im Anfang der Zahlenreihe ist die Genauigkeit nur 2 bis 3 Proz., die höheren Zahlen dagegen sind auf weniger als 1 Proz. genau. Die Steigerung der Genauigkeit mit zunehmendem Winkel ist durch die Methode bedingt, da erstens zur Bestimmung von ϑ die Durchmesser der Ringe auf dem kreisförmig angeordneten Film gemessen werden und die größeren Durchmesser bei der endlichen Breite der Interferenzlinien natürlich prozentual genauer zu messen sind. Zweitens wirkt der Umstand, daß mit Annäherung von ϑ an 180°, also von $\frac{\vartheta}{2}$ an 90°, die Größen $\sin\frac{\vartheta}{2}$ immer langsamer anwachsen, in derselben Richtung.

1) Es ist von Interesse zu bemerken:
a) daß bisher bei den untersuchten, kubisch kristallisierenden Metallen (*Cu*, *Ag*, *Au*) nur das flächenzentrierte Gitter beobachtet wurde,
b) daß in Anlehnung an die Bemerkungen von P. Pfeiffer (Z. f. anorg. u. allgem. Chem. **82**, S. 377 u. **87**, S. 161) Wolfram sich durch sein raumzentriertes Gitter als koordinativ achtwertig erweist im Wernerschen Sinne.

Unterhalb der Zahlen sind Bezeichnungen angegeben, welche eine Schätzung der Intensität darstellen: st = stark, m = mittel, s = schwach, ss = sehr schwach, sss = äußerst schwach.

Neben den angegebenen Zahlen muß nun, um ein völlig bestimmtes Bild der Substanz entwerfen zu können, noch bekannt sein

a) die Wellenlänge λ der benutzten Strahlung; dieselbe war im vorliegenden Falle Platin-*L*-Strahlung mit $\lambda_\alpha = 1{,}316 \cdot 10^{-8}$ cm und $\lambda_\beta = 1{,}121 \cdot 10^{-8}$ cm,

b) die Dichte ρ der Substanz; zwei Bestimmungen ergaben $\rho = 18{,}73$ bzw. $\rho = 18{,}66$, ich rechne mit $\rho = 18{,}7$.

Nachdem das Auftreten von scharfen Interferenzlinien gezeigt hat, daß wir mit einer mikrokristallinischen Substanz zu tun haben, handelt es sich nun um die Aufgabe, allein aus den angegebenen Zahlen

1. das Kristallsystem und damit die Form des Elementarbereiches,
2. die Atomstruktur jenes Bereiches

zu bestimmen.

1. Das Kristallsystem.

Im allgemeinen (triklinen) Falle muß sich $\sin^2\frac{\vartheta}{2}$ darstellen lassen durch die folgende Formel:

$$4\sin^2\frac{\vartheta}{2} = \frac{\lambda^2}{I^2}\{h_1^2(\mathfrak{A}\mathfrak{A}) + h_2^2(\mathfrak{B}\mathfrak{B}) + h_3^2(\mathfrak{C}\mathfrak{C}) + 2h_2h_3(\mathfrak{B}\mathfrak{C}) + 2h_3h_1(\mathfrak{C}\mathfrak{A}) + 2h_1h_2(\mathfrak{A}\mathfrak{B})\}, \quad (1)$$

dabei sind h_1, h_2, h_3 drei ganze Zahlen (die Indizes der reflektierenden Ebene); I ist der Rauminhalt des Elementarparallelopipeds, so daß, wenn $\mathfrak{a}$, $\mathfrak{b}$, $\mathfrak{c}$ die drei Vektoren desselben bedeuten,

$$I = (\mathfrak{a}[\mathfrak{b}\mathfrak{c}])$$

ist; $\mathfrak{A}$, $\mathfrak{B}$, $\mathfrak{C}$ schließlich sind die Vektoren des zum $\mathfrak{a}$, $\mathfrak{b}$, $\mathfrak{c}$-Gitter polaren Gitters, wonach also

$$\mathfrak{A} = [\mathfrak{b}\mathfrak{c}], \quad \mathfrak{B} = [\mathfrak{c}\mathfrak{a}], \quad \mathfrak{C} = [\mathfrak{a}\mathfrak{b}].$$

Zunächst muß man nun die 6 Zahlenkoeffizienten $k_{11} \ldots k_{12}$ bestimmen, mit deren Hilfe es möglich ist, die beobachteten, zu einer Wellenlänge gehörigen Werte von $\sin^2\frac{\vartheta}{2}$ darzustellen nach der Formel

$$4\sin^2\frac{\vartheta}{2} = k_{11}h_1^2 + k_{22}h_2^2 + k_{33}h_3^2 + 2k_{23}h_2h_3 + 2k_{31}h_3h_1 + 2k_{12}h_1h_2 \quad (2)$$

unter Benutzung von drei beliebigen, für jede Linie verschiedenen, ganzen Zahlen h_1, h_2, h_3. Der Vergleich von (2) mit (1) liefert dann eine

Bestimmung der drei Vektoren $\mathfrak{a}, \mathfrak{b}, \mathfrak{c}$ des Elementarparallelopipeds (nach Größe und gegenseitiger Orientierung). Die allgemeinen Formeln, welche dabei zu benutzen sind, haben wir in unserer Notiz über die Kohlenstoffmodifikationen angegeben[1]).

Man fängt am besten damit an, daß man zunächst die Interferenzen der β-Linie ausscheidet. Unter Beachtung der Intensitätsangaben gelingt das leicht, wenn man bedenkt, daß, wenn eine α-Linie z. B. einen Wert

$$\sin\frac{\vartheta}{2} = g$$

erzeugt hat, durch Reflexion an derselben Kristallebene die β-Linie einen Wert

$$\sin\frac{\vartheta'}{2} = \frac{\lambda_\beta}{\lambda_\alpha} g$$

erzeugt. Wendet man diese Bemerkung auf die vorliegenden Werte von $\sin\frac{\vartheta}{2}$ an, so scheiden die Zahlen in gewöhnlichem Druck aus, und es bleiben die 11 fettgedruckten Zahlen, als durch die α-Linie bedingt, übrig. Nun folgt sinngemäß die Bestimmung der Koeffizienten $k_{11} \ldots k_{12}$.

Auch wenn nichts über das Kristallsystem bekannt ist, wie im vorliegenden Falle, kann man sich diese Bestimmung oft sehr erleichtern. Dazu dient die folgende Bemerkung.

Angenommen, es gäbe eine Linie, welche zu

$$h_1 = p, \quad h_2 = q, \quad h_3 = r$$

gehört, dann wird man im allgemeinen noch 23 andere Linien erwarten können, welche mit denselben positiv oder negativ genommenen Zahlen p, q, r durch die quadratische Form (2) zusammenhängen; denn aus den Zahlen p, q, r; $-p, q, r$; $p, -q, r$ und $p, q, -r$ lassen sich im ganzen 4×6 Kombinationen bilden. Jede dieser Kombinationen liefert nach (2) einen anderen Wert von $\sin^2\frac{\vartheta}{2}$ und damit eine neue Interferenzlinie. Ein trikliner Kristall liefert also im allgemeinen ein äußerst linienreiches Bild. Je größer die Symmetrie des Kristalls wird, um so weniger Interferenzlinien erzeugt das Kristallpulver. So wird z. B. bei einem kubischen Gitter

$$|\mathfrak{a}| = |\mathfrak{b}| = |\mathfrak{c}| = a \quad \text{und} \quad (\mathfrak{a}\mathfrak{b}) = (\mathfrak{b}\mathfrak{c}) = (\mathfrak{c}\mathfrak{a}) = 0,$$

somit

$$(\mathfrak{A}\mathfrak{A}) = (\mathfrak{B}\mathfrak{B}) = (\mathfrak{C}\mathfrak{C}) = a^4$$

und

$$(\mathfrak{A}\mathfrak{B}) = (\mathfrak{B}\mathfrak{C}) = (\mathfrak{C}\mathfrak{A}) = 0.$$

1) Diese Zeitschr. **18**, 294, 1917.

Da weiterhin $I = a^3$ ist, so wird nach (1)

$$4\sin^2\frac{\vartheta}{2} = \frac{\lambda^2}{a^2}(h_1^2 + h_2^2 + h_3^2), \qquad (3)$$

d. h. aus dem allgemeinen Falle (2) folgt der kubische, wenn

$$k_{11} = k_{22} = k_{33} = \frac{\lambda^2}{a^2}, \quad k_{23} = k_{31} = k_{12} = 0$$

gesetzt wird. Dem entspricht es, daß die obengenannten 24 Kombinationen nunmehr nur eine einzige Interferenzlinie erzeugen, während sie im triklinen Falle deren 24 zustande brachten. Der größere oder geringere Linienreichtum einer Aufnahme gibt also, wenn man einigermaßen geübt ist, schon einen Anhalt über das zu erwartende System.

Im vorliegenden Falle nun ist die Zahl (11) der Linien verhältnismäßig klein, man wird also zunächst versuchen, ob ein kubischer Elementarbereich den beobachteten Werten von $\sin\frac{\vartheta}{2}$ angepaßt werden kann. Wenn das aber zutrifft, dann müssen nach (3) die Quadrate von $\sin\frac{\vartheta}{2}$ sich wie ganze Zahlen verhalten. Am bequemsten prüft man diese Vermutung mit Hilfe des Rechenschiebers, indem man nacheinander die Verhältnisse $\left(\frac{421}{302}\right)^2$, $\left(\frac{512}{421}\right)^2$, usw. einstellt und zusieht, ob und welche ganze Zahlen einander dann auf Zunge und Rahmen des Rechenschiebers gegenüberstehen[1]). Im vorliegenden Falle findet man so ohne weiteres, daß die Quadrate der fett gedruckten Zahlen sich verhalten wie

$$1:2:3:4:5:6:7:8:9:10:11,$$

natürlich unter Beachtung der möglichen Beobachtungsfehler.

Damit ist dargetan, daß Wolfram einen kubischen Elementarbereich besitzt.

2. Struktur und Größe des Elementarbereichs.

Nach (3) ist erforderlich, daß die ganzen Zahlen, welche $\sin^2\frac{\vartheta}{2}$ der betreffenden Linien charakterisieren, sich darstellen lassen als Summe der Quadrate dreier anderer ganzen Zahlen,

1) Man kann auch die betreffenden Verhältnisse in Kettenbrüche entwickeln, die Näherungsbrüche geben dann die ganzzahligen Verhältnisse. Wie mir Herr Toeplitz mitteilt, besteht von diesem Verfahren eine Veralgemeinerung von Jacobi für die allgemeinere quadratische Form, dessen Ausarbeitung für die Kristalluntersuchungen von besonderem Interesse sein dürfte.

nämlich der Indizes h_1, h_2, h_3. Es muß also nun die Prüfung dieser Forderung folgen.

Dazu ordne ich zunächst alle möglichen Kombinationen dreier ganzer Zahlen h_1, h_2, h_3 nach der Größe ihrer Quadratsumme

$$Q = h_1^2 + h_2^2 + h_3^2.$$

Bis zur Quadratsumme 22 erhält man die folgende Tabelle.

Tabelle I.

h_1, h_2, h_3	Q	h_1, h_2, h_3	Q	h_1, h_2, h_3	Q
001	1	212	9	**004**	16
101	2	003		104	17
111	3	**103**	10	223	
002	4	113	11	**114**	18
102	5	**222**	12	**303**	
112	6	203	13	313	19
202	8	**213**	14	**204**	20
				214	21
				323	22

Ein Blick auf diese Tabelle zeigt, daß die oben gefundenen Zahlen 1 bis 11 als Quadratsummen der Indizes unmöglich sind. Die Zahl 7 nämlich, welche in der obigen Proportion vorkommt und welche zu einer starken Linie mit $\sin\frac{\vartheta}{2} = 0{,}777$ gehört, läßt sich nicht durch die Summe dreier Quadrate von ganzen Zahlen darstellen: sie fehlt in der Tabelle I.

Nun sind wir aber nicht daran gebunden, die Zahlen 1 bis 11 selbst als Quadratsumme der Indizes anzusehen, es kann vielmehr irgendein ganzzahliges Vielfaches dieser Zahlen die Rolle der fraglichen Quadratsumme übernehmen. Das nächste Vielfache wären die Zahlen

2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22;

als Quadratsummen sind diese Zahlen nach der Tabelle ohne weiteres möglich. Aber auch andere Vielfache lassen sich finden, deren Einzelzahlen gleich gut als Quadratsumme dreier ganzen Zahlen darstellbar sind. Wir müssen also jetzt eine Auswahl treffen.

Das geschieht unter Benutzung des für die Dichte des Wolframs gefundenen Wertes.

Tatsächlich bedingt nämlich nach (3) die Wahl von bestimmten Quadratsummen einen bestimmten Wert a für die Kantenlänge des Elementarkubus, da

$$\lambda = 1{,}316 \cdot 10^{-8} \text{ cm}$$

bekannt ist und $\sin\frac{\vartheta}{2}$ beobachtet wurde. Ist aber hiernach a bekannt und ist m die wirkliche Masse eines Wolframatoms, dann wird die Dichte ϱ der Substanz gleich

$$\varrho = z\frac{m}{a^3}, \qquad (4)$$

wenn z Atome im Elementarbereich vorhanden sind. Liest man (4) in der Form

$$z = \frac{\varrho a^3}{m}, \qquad (4')$$

dann muß also die Forderung gestellt werden, daß mit dem aus den angenommenen Quadratsummen folgenden Werte von a aus (4') die Zahl z sich als ganze Zahl ergibt.

Nehmen wir zur Ausführung dieser Rechnung z. B. die neunte, mit $\sin\frac{\vartheta}{2} = 0{,}877$ beobachtete starke Linie, und prüfen wir, ob der zugehörige Wert der Quadratsumme $Q = 18$ unserer Forderung genügt.

Durch Einsetzen der angegebenen Werte folgt zunächst aus (3)

$$a^2 = \frac{\lambda^2}{4}\frac{Q}{\sin^2\frac{\vartheta}{2}} = 10{,}14 \cdot 10^{-16}.$$

Andererseits ist $\varrho = 18{,}7$ und $m = 300 \cdot 10^{-24}$, wenn die Masse eines Wasserstoffatoms zu $1{,}64 \cdot 10^{-24}$ g und das Atomgewicht von Wolfram zu 184 (auf $O = 16$ bezogen) angenommen wird. Aus (4') folgt also

$$z = \frac{18{,}7 \cdot 10{,}14\sqrt{10{,}14}}{300} = 2{,}01.$$

Die oben für die Quadratsummen an zweiter Stelle angenommenen Werte 2, 4, ... 22 passen also ohne weiteres und fordern $z = 2$ Atome im Elementarbereich mit der Kantenlänge $a = 3{,}18 \cdot 10^{-8}$ cm.

Zuletzt kommt nun noch die Frage nach der Lagerung dieser zwei Atome im Elementarbereich.

Die nunmehr getroffene Wahl der Werte 2 . . . . 22 für die Quadratsummen erfordert einen Grund dafür, warum die Interferenzlinien mit den nach der allgemeinen Tabelle zunächst gleich gut möglichen Quadratsummen 1, 3, 5, 9, ... nicht auftreten. Nach Tabelle I, in der die zu den beobachteten Linien gehörigen Indizes fett gedruckt sind, haben die übrigen Indizes die gemeinsame Eigenschaft, daß ihre jeweilige Summe ungerade ist. Die zwei Atome müssen also so gelagert werden, daß Reflexionen an Ebenen mit Indizes, deren Summe ungerade ist, sich durch Interferenz aufheben. Das ist aber der Fall, wenn der Elementarkubus raumzentriert ist, so daß das erste Atom im Eckpunkt und das zweite im Mittelpunkt jenes Kubus zu liegen kommt. In diesem Falle wird nämlich der Strukturfaktor

$$S = 1 + e^{i\pi(h_1+h_2+h_3)}, \qquad (5)$$

da die Koordinaten der beiden Atome die Werte

o, o, o bzw. $\frac{a}{2}, \frac{a}{2}, \frac{a}{2}$

haben. Nach (5) ist für Indizeskombinationen, deren Summe ungerade ist, der Strukturfaktor Null; sie liefern also keine Interferenzlinie.

Alle sonst möglichen, zu λ_α gehörigen Interferenzlinien sind nach Ausweis der Tabelle I im Vergleich mit den am Anfang von § 1 angegebenen Werten von $\sin\frac{\vartheta}{2}$ beobachtet.

Sehen wir die fehlenden Linien mit ungerader Indizessumme als wirkliche Linien mit der Intensität Null an, dann liegt es nahe, auch die endliche Intensität der beobachteten Linien mit den zugehörigen Werten des Strukturfaktors in Zusammenhang zu bringen. Abgesehen von dem mehr äußerlichen Einfluß der Absorption im zerstreuenden Präparat kann die Intensität einer Interferenzlinie als Produkt der folgenden Faktoren dargestellt werden:

a) der Zerstreuungsfaktor, der die Fähigkeit des Atoms mißt, Sekundärstrahlung zu erzeugen,

b) der Interferenzfaktor, gleich dem Quadrat des absoluten Betrages des Strukturfaktors,

c) der Lorentzsche Faktor, proportional dem reziproken Werte der in (2) auftretenden quadratischen Form,

d) der Temperaturfaktor, der die Schwächung der Interferenzen infolge der Wärmebewegung mißt, und schließlich bei der hier angewandten Methoden noch

e) die Zahl der Netzebenen, welche in einer Interferenzlinie zusammenwirken.

Berücksichtigen wir hier nur a), b), c) und e), und dabei a) nur so, daß wir nach der einfachen Thomsonschen Formel auf die Elektroneninterferenzen[1]) gar nicht achten, dann wird bis auf einen Proportionalitätsfaktor die Intensität I gleich

$$I = \frac{1+\cos^2\vartheta}{2} \cdot 2\{1+\cos\pi(h_1+h_2+h_3)\} \cdot \frac{1}{h_1^2+h_2^2+h_3^2} \cdot n, \qquad (6)$$

wobei n die Zahl der reflektierenden Netzebenen bedeutet.

In der folgenden Tabelle II enthält nun die erste Reihe die Indizes einer der zusammenwirkenden reflektierenden Ebenen, die zweite die Zahl n, die dritte die nach (6) berechnete Intensität und die vierte die geschätzte Intensität nach der Zusammenstellung am Anfang des Paragraphen, alles für die durch λ_α erzeugten 11 Interferenzen.

Tabelle II.

$h_1 h_2 h_3$	n	I		$\sin\frac{\vartheta}{2}$ beob.	$\sin\frac{\vartheta}{2}$ ber.	$\sin\frac{\vartheta}{2}$ beob.	$\sin\frac{\vartheta}{2}$ ber.
011	12	20	st	0,302	0,293	0,260	0,250
002	6	4,2	m	0,421	0,414	0,343	0,353
112	24	9,8	st	0,512	0,507	0,430	0,433
022	12	3,3	m	0,590	0,585	0,490	0,500
013	24	4,9	st	0,058	0,654	0,560	0,558
222	8	1,3	m-s	0,720	0,716	0,625	0,611
123	48	7,2	st	0,777	0,775	—	0,660
004	6	0,86	s	0,829	0,828	—	0,707
114 / 033	24 / 12	5,2	st	0,877	0,877	0,745	0,749
024	24	3,6	st	0,923	0,925	0,760	0,789
233	24	3,9	st	0,970	0,970	—	0,827

Man sieht, wie die Schätzung der Stärke ganz parallel läuft mit den berechneten Werten von I, insbesondere kommt sehr schön die Schwäche der Reflexion vierter Ordnung an den Hexaederebenen ($h_1 = 0$, $h_2 = 0$, $h_3 = 4$) zum Ausdruck. In dieser Übereinstimmung kann man eine nachträgliche Bestätigung des angenommenen Strukturfaktors und damit eine erneute Rechtfertigung des raumzentrierten Würfels erblicken.

Als fünfte Reihe sind der Tabelle die beobachteten Werte von $\sin\frac{\vartheta}{2}$, als sechste die berechneten hinzugefügt. Die Berechnung geschah nach (3) unter Benutzung der oben gefundenen Kantenlänge $a = 3{,}18 \cdot 10^{-8}$ cm, d. h. nach der Formel:

$$\sin\frac{\vartheta}{2} = 0{,}207\sqrt{h_1^2+h_2^2+h_3^2}.$$

In den zwei letzten Vertikalreihen schließlich sind die beobachteten bzw. berechneten Werte von $\sin\frac{\vartheta}{2}$ eingetragen für die durch die β-Linie erzeugten Interferenzen. Die Berechnung geschah nach der Formel

$$\sin\frac{\vartheta}{2} = \frac{1{,}121}{1{,}316}\,0{,}207\sqrt{h_1^2+h_2^2+h_3^2}.$$

Die Abweichungen der berechneten von den beobachteten Werten für $\sin\frac{\vartheta}{2}$ liegen durchweg innerhalb der Fehlergrenze[1]).

1) P. Debye, Ann. d. Phys. **46**, 809, 1915.

1) Die besonders für kleine Winkel auftretende systematische Differenz zwischen Beobachtung und Berechnung läßt sich übrigens im wesentlichen zurückführen auf den Einfluß der Dicke des zerstreuenden Stäbchens. Da nur dessen Ränder strahlen, werden besonders die kleinen Winkel etwas zu groß gemessen.

Sogar dafür, daß einige von den sehr schwachen, zu λ_β gehörigen Interferenzen nicht beobachtet sind, lassen sich gute Gründe anführen. Die Linie 0,660 fällt auf die von λ_α herrührende 0,658; die Linie 0,707 sollte die λ_β-Interferenz von 0,829 sein, oben wurde aber schon darauf aufmerksam gemacht, daß diese Interferenz auch theoretisch schon in der α-Linie, als Reflexion vierter Ordnung, schwach ausgebildet ist, es ist also verständlich, daß die λ_β-Interferenz nicht mehr kommt. Die Linie 0,827 fällt wieder zusammen mit der λ_α-Interferenz 0,829. Schließlich erklärt sich noch die nicht in Tabelle II aufgenommene Linie 0,900 der Zusammenstellung am Anfang als die λ_β-Interferenz, entstanden bei der Reflexion an $h_1 = 0$, $h_2 = 1$, $h_3 = 5$, denn unter dieser Annahme berechnet sich $\sin \frac{\vartheta}{2} = 0{,}900$, sogar genau übereinstimmend mit dem beobachteten Werte. Die zugehörige λ_α-Interferenz würde $\sin \frac{\vartheta}{2} = 1{,}055$ erfordern, ist also nicht mehr reell.

Zusammenfassend scheint mir die in der Einleitung angegebene Struktur des Wolframs durch die obigen Zahlen sehr gut begründet zu sein. Man sieht, wie die Methode verhältnismäßig leicht zu erschöpfenden Angaben führt, sogar in Fällen wie der vorliegende, wo von vornherein gar nichts über die Struktur des Präparats bekannt ist.

Göttingen, Physikalisches Institut.

(Eingegangen 3. August 1917.)

ZUSAMMENFASSENDE BEARBEITUNGEN.

Über Röntgenspektroskopie.

Von Ernst Wagner.

(Schluß.)

§ 3. Sommerfelds[1]) Weiterführung der Bohrschen Theorie.

Die Feinstruktur des Spektrums.

Bohr hatte seine Betrachtungen auf kreisförmige Elektronenbahnen beschränkt, die durch Ansatz I quantengemäß diskret definiert waren. Sommerfeld stellte in einer grundlegenden Untersuchung den allgemeinen Quantenansatz für Systeme mit mehreren Freiheitsgraden auf, nach dem für jeden Freiheitsgrad (Koordinate q) das „Phasenintegral" ein vielfaches (n) des Wirkungsquantums h sein soll. Wenn der zu q gehörige Impuls

$$p = \frac{\partial T}{\partial \dot{q}} \quad (T = \text{lebendige Kraft})$$

ist, lautet der Ansatz:

$$\int p \cdot dq = n \cdot h .$$

Die Integration ist über den Veränderlichkeitsbereich von q zu erstrecken.

Im Falle der Keplerschen Bewegung eines Elektrons (Masse μ) um einen positiv geladenen Kern sind zwei Freiheitsgrade zu berücksichtigen. Die erste Quantenbedingung bezieht sich auf die azimutale Koordinate $q = \varphi$ in der Keplerschen Bahn, zu welcher als Impuls die Flächenkonstante $p = \mu \cdot r^2 \dot{\varphi}$ gehört (r = Radiusvektor).

Die „azimutale Quantenbedingung" lautet:

$$p \int_0^{2\pi} d\varphi = n h \qquad (17)$$

Sie ist bei Kreisbahnen mit dem Bohrschen Ansatz I identisch. Die zweite, „radiale Quantenbedingung" bezieht sich auf $q = r$ und lautet:

$$\int \mu \dot{r}\, dr = n' \cdot h . \qquad (18)$$

Es zeigt sich, daß (17) und (18) zusammen konfokale Ellipsenbahnen mit diskreten Werten der Exzentrizität ε definieren, darunter die Kreisbahn mit $n' = 0$:

$$1 - \varepsilon^2 = \frac{n^2}{(n+n')^2} .$$

Für die Energiewerte der verschiedenen Bahnen ergibt sich das überraschend einfache Resultat:

$$W_{n,n'} = -\frac{\nu_0 h}{(n+n')^2} . \qquad (19)$$

Hiernach ist die Energie der verschiedenen Kreis- und Ellipsenbahnen nur abhängig von der Summe $(n+n')$ der Quantenzahlen und unabhängig von der Kombination wie die Quantenzahlen einzeln auf die zwei Freiheitsgrade verteilt sind. Die Summe $(n+n')$ ist aber in $(n+n')$-facher Weise aus den zwei Einzelwerten n und n' zusammenzusetzen, wenn „Pendelbahnen" mit dem azimutalen Quantum $n = 0$ nach Sommerfeld ausgeschlossen werden. Wir haben also $(n+n')$ Kreis- und Ellipsenbahnen von genau der gleichen Energie.

1) A. Sommerfeld, Ann. d. Phys. 51, 1 u. 125, 1916.

Nach der Bohrschen Frequenzgleichung II erhält man hiernach, wenn man das Elektron von einer Anfangsbahn mit den Quantenzahlen m, m' zu einer Endbahn mit n, n' übergehen läßt, die Sommerfeldsche verallgemeinerte Serienformel für Wasserstoff:

$$\nu = \nu_0 \left(\frac{1}{(n+n')^2} - \frac{1}{(m+m')^2} \right). \qquad (20)$$

Durch die Zulassung von zwei Freiheitsgraden (d. i. von Ellipsenbahnen) wird also die Mannigfaltigkeit der Erzeugungsmöglichkeit einer jeden Serienlinie zwar sehr vergrößert, aber die entstehenden Frequenzen bleiben in allen den vermehrten Kombinationen die gleichen.

Sommerfeld konnte nun zeigen, daß bei Berücksichtigung der Veränderlichkeit der Elektronenmasse mit der Geschwindigkeit (nach dem Relativitätsprinzip) die Energie der verschiedenen Bahnen, die bei gegebener Quantensumme $(n+n') = \text{const.}$ zu verschiedenen Einzelwerten n und n' gehören, nicht mehr völlig gleich wird, sondern jeweils in charakteristischer Weise ein wenig auseinander fällt. Infolge der Frequenzbedingung II muß somit die soeben betrachtete Mannigfaltigkeit der Entstehungsart, die in erster Annäherung zu derselben Serienfrequenz führte, in Wirklichkeit Veranlassung geben zu einer ebenso großen Mannigfaltigkeit von Frequenzwerten, die sich wenig voneinander unterscheiden, d. h. zu einer Feinstruktur der Serienlinien.

Die geschlossene Frequenzdarstellung lautet im Falle der Kernladung $E = N \cdot e$:

$$\nu = \frac{\mu_0 c^2}{h} \left| \frac{1}{\sqrt{1 + \dfrac{\alpha^2 N^2}{\left(n' + n\sqrt{1 - \left(\dfrac{\alpha N}{n}\right)^2}\right)^2}}} - \frac{1}{\sqrt{1 + \dfrac{\alpha^2 N^2}{\left(m' + m\sqrt{1 - \left(\dfrac{\alpha N}{m}\right)^2}\right)^2}}} \right| \qquad (21)$$

Hier bedeuten $\mu_0 =$ Ruhemasse des Elektrons,

$$\alpha = \frac{2\pi e^2}{h \cdot c} = 7{,}29 \cdot 10^{-3}$$

(Konstante der Feinstruktur); $c = 3 \cdot 10^{10}$.

Die Analogie zur einfachen Seriendarstellung (20) tritt besser in Verfolgung der Näherungsformel für die Energie $W_{n,n'}$ einer Bahn mit den Quantenzahlen n und n' hervor:

$$W_{n,n'} = -\frac{\nu_0 h}{(n+n')^2} \cdot N^2 \cdot \left| 1 + \frac{\alpha^2 N^2}{(n+n')^2} \left(\frac{1}{4} + \frac{n'}{n} \right) \right| \qquad (22)$$

Bezeichnet man die geschweifte Klammer, die den Relativitätseinfluß mißt, mit f_n bzw. f_m, je nachdem sie die Quantenzahlen n, n' oder m, m' enthält, so folgt als Frequenz:

$$\nu = \nu_0 N^2 \left| \frac{1}{(n+n')^2} \cdot f_n - \frac{1}{(m+m')^2} \cdot f_m \right| \qquad (23)$$

Ebenso wie die Bohrsche Spektralformel ist auch die Sommerfeldsche Feinstrukturgleichung lediglich aus universellen Naturkonstanten und ganzen Zahlen aufgebaut, was ihr ein ganz besonderes theoretisches Gepräge verleiht.

Die qualitativ zu erwartenden Multiplizitäten der Linien können wir leicht überblicken, wenn wir die verschiedenen Bahnen nach ihrem Energiewert als Kreise mit verschiedenen Radien schematisch darstellen (vgl. Fig. 22).

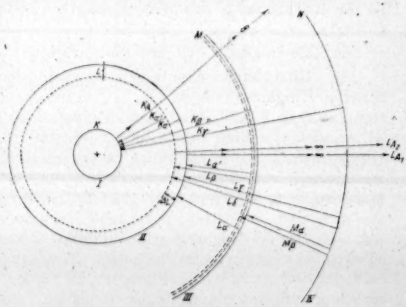


Fig. 22.

Unter den gleichquantigen Bahnen $(n+n') = \text{const.}$ sind die Ellipsenbahnen punktiert gezeichnet; die Bahnen mit den größeren Exzentrizitäten haben nach (22) die absolut gerechnet größere, also algebraisch gerechnet kleinere Energie.

Der innersten Bahn I (K-Ring) entspricht die Quantensumme $(n+n') = 1$.

Sie muß einfach und eine Kreisbahn sein, da nur die eine Zerlegung möglich ist:

$$n = 1 \qquad n' = 0.$$

Der zweiten Bahn II (L-Ring) entspricht $(n+n') = 2$. Bei dieser zweiquantigen Anordnung liegen zwei Möglichkeiten vor:

$n = 2$ $\quad n' = 0$ Kreisbahn
$n = 1$ $\quad n' = 1$ Ellipse.

Die dritte Bahngruppe III (M-Ring) ist dreiquantig: $(n+n') = 3$.

Hier sind drei Bahnen möglich, entsprechend der Zerlegung:

$n = 3$ $\quad n' = 0$ Kreis
$n = 2$ $\quad n' = 1$ } Ellipsen. usw.
$n = 1$ $\quad n' = 2$ }

Die einfachste Frequenzserie, die sich aus diesen Bahnen herleitet, wird nach der Frequenzformel (20) mit den Werten $(n+n')=1$ und $(m+m')=2, 3, 4 \ldots$ gebildet.

Ihr entspricht die ultraviolette H-Serie bzw. bei N-fach geladenem Kern die K-Serie. Diese Serie muß nach dem Ringschema Fig. 22 folgende Feinstruktur zeigen:

Es entsteht als Feinstruktur beim Übergang des Elektrons zum einfachen (K)-Ring I vom
zweifachen Ring II (L) ein Dublett
dreifachen Ring III (M) ein Triplett
vierfachen Ring IV (N) ein Quartett.
usw.

Die nächst komplizierte Serie mit

$(n+n')=2$ und $(m+m')=3, 4, 5 \ldots$

ist die Balmerserie des Wasserstoffs bzw. die L-Serie.

Sie läßt folgende Feinstruktur erwarten:

Die Übergänge des Elektrons von den äußeren Ringanordnungen III, IV, V usw. zum zweifachen Ring II ergeben Dubletts aller Serienlinien von konstantem Schwingungszahlenunterschied. Diese Dublettlinien bilden ihrerseits eine Gruppe von engerer Feinstruktur, die nach Maßgabe ihrer Herkunft vom III, IV usw. Ring aus 3, 4 usw. feinen Linien besteht. So lassen sich die immer reicheren Multiplizitäten der höheren Serienlinien leicht herleiten. Sommerfeld gibt eine statistisch begründete[1]), im Funkenspektrum empirisch zutreffende Regel an, wonach die Intensität der Linien durch die Wahrscheinlichkeit der verschiedenen Bahnen bzw. Bahnübergänge des Elektrons bestimmt erscheint (Kreisbahn ist wahrscheinlicher als die Ellipse) und durch das Verhältnis der Quantenzahlen m, n reguliert wird, die beim Elektronenübergang in Frage kommen. In Ergänzung dazu postuliert er gewisse „Quantenungleichungen", durch die einige Linien geschwächt oder ganz unterdrückt werden sollen[2]).

Auf ihrem eigentlichen Anwendungsgebiet, dem H- und He-Serienspektrum, hat bekanntlich die Sommerfeldsche Feinstrukturlehre eine ausgezeichnete Bestätigung gefunden durch Paschen nicht nur qualitativ in den Multiplizitäten der Linien, sondern vor allem in den quantitativen Beziehungen. — Die Theorie liefert für den charakteristischen Wert der Feinstruktur, d. i. die Schwingungszahlendifferenz $\Delta\nu$, die aus der Energiedifferenz $W_{1,1} - W_{2,0}$ der zweiquantigen Ellipse gegenüber dem Kreis hervorgeht, in erster Annäherung nach (22):

$$\Delta\nu = -\frac{W_{1,1} - W_{2,0}}{h} = \frac{\nu_0 \cdot \alpha^2}{2^4} \cdot \left(\frac{E}{e}\right)^4 \quad (24)$$

Für Wasserstoff ($E = e$) ist der theoretische Wert $\Delta\nu_H = 0{,}363$ in guter Übereinstimmung mit der Messung der feinen Dubletts in der Balmerserie. Für ionisiertes Helium ($E = 2e$) erscheint $\Delta\nu$ gegenüber $\Delta\nu_H$ 16-fach vergrößert. Paschen entnimmt aus seinen Messungen an der Feinstruktur der Heliumlinien als genauesten Wert

$$\Delta\nu_H = 0{,}365 \pm 0{,}005.$$

Es mag noch erwähnt sein, daß die Größen aller möglichen Feinstrukturen $\Delta\nu$ bei beliebigen Serien und Elementen im Verhältnis einfacher rationaler Zahlen stehen, sofern sie wasserstoffähnlichen Ursprung haben.

Auf dem Gebiete der Röntgenserien bewährt sich die in der Moseleyschen Darstellung der Hauptserienlinien K_α und L_α betonte Wasserstoffähnlichkeit überraschenderweise auch in der Feinstruktur der K- bzw. L-Serie. So zeigt sich die K-Serie als eine einfache Serie ohne Feinstruktur und mit nur einer Absorptionsbandkante entsprechend dem Werte $(n+n')=1$. So ist die L-Serie eine Dublettserie, wenn wir das größere L-Dublett allein heranziehen, entsprechend $(n+n')=2$. Allerdings scheint das weitgetrennte L-Dublett ΔL zunächst nicht als „Fein"-Struktur gelten zu können im Vergleich zu dem minutiösen H-Dublett in der Balmer-Serie. Indessen liefert gerade das Sommerfeldsche Feinstrukturgesetz (24) durch seine Beziehung auf den Faktor $\left(\frac{E}{e}\right)^4$ den völlig bündigen Nachweis für die Richtigkeit einer solchen Auffassung von der Wasserstoffähnlichkeit des L-Dubletts.

Nehmen wir unter Vorwegnahme späterer Ergebnisse statt der Kernladung der Elemente $e \cdot N = E$ die effektive Kernladung $(N - 3{,}5) \cdot e$, so lautet das Sommerfeldsche Gesetz (24)

$$\Delta\nu = \Delta\nu_H \cdot (N - 3{,}5)^4. \quad (25)$$

In der folgenden Tabelle von Sommerfeld sind die aus den gemessenen $\Delta\nu$ auf Grund von (25) berechneten $\Delta\nu_H$ zusammengestellt (zum Teil aus den K-Dubletts α, α', die den L-Dubletts gleichen).

In Anbetracht des gewaltigen Bereiches der $\Delta\nu$ von $8 \cdot 10^4$ bis $3 \cdot 10^7$ ist die Konstanz von $\Delta\nu_H$ vorzüglich zu nennen. Der geringe Gang von $\Delta\nu_H$ mit N wird völlig erklärt durch Heranziehung der folgenden genaueren Formel, die auch die höheren Glieder des

1) A. Sommerfeld, Sitz-Ber. d. bayr. Ak. 1917.
2) Aus solchen Intensitätsgründen ist im L-Dublett $L_\beta - L_{\alpha'}$ die schwächere α'-Linie statt der stärkeren α-Linie zu wählen.

Tabelle XI.

	$\Delta\nu$	$\Delta\nu_H$
	K-Dubletts.	
24 *Cr*	0,77 . 10^5	0,43
29 *Cu*	1,68 . 10^5	0,40
30 *Zn*	1,94 . 10^5	0,39
35 *Br*	4,04 . 10^5	0,47
40 *Zr*	8,00 . 10^5	0,45
45 *Rh*	1,05 . 10^6	0,35
47 *Ag*	1,57 . 10^6	0,44
	L-Dubletts.	
47 *Ag*	1,39 . 10^6	0,389
50 *Sn*	1,83 . 10^6	0,391
55 *Cs*	2,76 . 10^6	0,393
60 *Nd*	4,08 . 10^6	0,400
63 *Eu*	5,21 . 10^6	0,415
68 *Er*	7,31 . 10^6	0,421
71 *Ad*	8,98 . 10^6	0,432
73 *Ta*	1,014 . 10^7	0,435
76 *Os*	1,222 . 10^7	0,443
78 *Pt*	1,370 . 10^7	0,445
80 *Hg*	1,465 . 10^7	0,451
82 *Pb*	1,742 . 10^7	0,459
83 *Bi*	1,853 . 10^7	0,464
90 *Th*	2,735 . 10^7	0,489
92 *U*	3,053 . 10^7	0,498

Relativitätseinflusses auf die Elektronenmasse berücksichtigt:

$$\Delta\nu = (N-3{,}5)^4 \cdot \Delta\nu_H \left(1 + \frac{5}{2}\alpha^2 \frac{(N-3{,}5)^2}{2^2} + \frac{53}{8}\frac{(N-3{,}5)^4}{2^4}\right). \quad (26)$$

Infolge der hohen Kernladung, die mit der vierten Potenz eingeht, erscheint also die Feinstruktur $\Delta\nu$ in den *L*-Dubletts der Röntgenserien ungeheuer vergrößert (bei Uran ($N = 92$) $70 \cdot 10^6$ mal $\Delta\nu_H$); dies ist in der Massenzunahme des Elektrons begründet, die sich bei den großen Bahngeschwindigkeiten um den hochgeladenen Kern stark geltend macht.

Das zweite *L*-Dublett $\Delta\Delta$ erweist seine Herkunft als echtes Feinstrukturdublett dadurch, daß es in der Beziehung (25) die allgemeine Abhängigkeit zwischen $\Delta\Delta$ und N erfüllt. Die theoretische Herleitung seiner absoluten Größe fehlt indessen noch.

Isolierung des *L*- und *K*-Terms.

Die theoretisch vollkommene Bewältigung der Dublettstruktur der *L*-Serie ermöglichte es Sommerfeld, daran anschließend den sogenannten „*L*-Term" der Serienformel aus den Dublett-Beobachtungen wie folgt abzuleiten.

Die Schwingungszahlen gehen nach der Serienformel stets aus der Differenz zweier Terme hervor; z. B. $\nu_{K\alpha}$ und $\nu_{L\alpha}$ in der Moseleyschen Darstellung aus der Differenz der zwei Terme K und L bzw. L und M:

$$\nu_{K\alpha} = \nu_0 (N-1)^2 \cdot \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right) = \nu_0 (K - L)$$

$$\nu_{L\alpha} = \nu_0 (N-7{,}4)^2 \cdot \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2}\right) = \nu_0 (L - M).$$

Die Terme K, L ... sind reine Zahlen. $\nu_0 \cdot K$ z. B. stellt die Grenzfrequenz der *K*-Serie dar; $h\nu_0 K$ bedeutet die Energie der *K*-Bahn.

Während Moseley beiden Termen derselben Frequenzformel die gleiche effektive Kernladung zuschreibt, ordnet Sommerfeld jedem Term (jeder Bahn) eine eigene effektive Kernladung zu, dem *K*-Term die Kernladung: $(N-k)\cdot e$, dem *L*-Term $(N-l)\,e$. Indem er vorläufig die Quantensummen ebenfalls als unbestimmte Größen a und b einführt, erhält er (ohne die Relativitätskorrektionen):

$$\nu_{K\alpha} = \nu_0 \left|\frac{(N-k)^2}{a^2} - \frac{(N-l)^2}{b^2}\right| = \nu_0 (K - L)$$

$$\nu_{L\alpha} = \nu_0 \left|\frac{(N-l)^2}{b^2} - M\right| = \nu_0 (L - M).$$

Der *L*-Term $L = \dfrac{(N-l)^2}{b^2}$ wird nun unmittelbar nach Sommerfeld aus den Werten ΔL des *L*-Dubletts nach der Feinstrukturformel (26) gewonnen, wenn dort die unbekannten Werte l und b an Stelle von 3,5 und 2 gesetzt werden. Aus der Reihe der gemessenen $\Delta\nu$ findet Sommerfeld $\dfrac{N-l}{b}$ in Abhängigkeit von N als eine genaue Gerade, aus deren Neigung der genaue ganzzahlige Wert 2,000 für die Quantensumme b folgt.

Hiermit ist die Wasserstoffähnlichkeit des *L*-Terms empirisch bewiesen. Für l ergab sich der Wert 3,5, also eine nicht ganze Zahl für die effektive Kernladung, ein Resultat, das eine Schwierigkeit im Rahmen der Theorie bedeutet.

Die streng lineare Darstellung von $\dfrac{N-l}{b}$ in Abhängigkeit von N wird wesentlich erreicht durch Berücksichtigung auch der höheren Glieder des Relativitätseinflusses der Elektronenmasse in der Formel (26). Es ist von Interesse, daß nach einer Untersuchung von K. Glitscher[1]) das Abrahamsche Elektron zwar auch jene lineare Darstellung liefert, aber statt der Ganzzahligkeit für $b = 2{,}000$ den Wert 1,892 ergibt und überhaupt die gemessene Größe der Feinstruktur mit den zuverlässigsten Werten für ν_0, h, e nicht wiederzugeben vermag.

Nach der Isolierung des *L*-Terms ergibt sich weiter der *K*-Term K nach Sommerfeld aus

1) Ann. d. Phys. **52**, 608, 1917.

den beobachteten K_α-Frequenzen auf Grund der Kombinationsformel:

$$\nu_{K\alpha} = \nu_0 (K - L). \qquad (27)$$

Die genaue, den hier besonders ins Gewicht fallenden Relativitätseinfluß berücksichtigende Abhängigkeit des K-Terms von $\frac{N-k}{a}$ lautet:

$$K = \nu_0 \frac{(N-k)^2}{a^2}\left\{1 + \frac{\alpha^2}{4}\left(\frac{N-k}{a}\right)^2 + \frac{\alpha^4}{8}\left(\frac{N-k}{a}\right)^4 + \frac{5}{64}\alpha^6\left(\frac{N-k}{a}\right)^6\right\}. \qquad (28)$$

Aus (27) und (28) findet Sommerfeld $\left(\frac{N-k}{a}\right)$ in Abhängigkeit von N wiederum als eine scharfe Gerade. a erweist sich wiederum genau ganzzahlig = 1,000;

k wird = 1,64.

Der K- und L-Term und der Ursprung der K_α-Frequenzen erscheinen hiernach als streng wasserstoffähnlich; freilich unter Annahme von zwei verschiedenen und nicht ganzzahligen wirksamen Kernladungen.

Gegenüber der Moseleyschen nur roh angenäherten Darstellung (2) der K_α-Frequenzen mit der einen empirischen Konstanten 1 im Werte $(N-1)\cdot\varepsilon$ der effektiven Kernladung erhält somit Sommerfeld die innerhalb der Meßfehler genaue Formel:

$$\frac{\nu_{K\alpha}}{\nu_0} = \frac{f_1 \cdot (N-1{,}6)^2}{1^2} - \frac{f_2 \cdot (N-3{,}5)^2}{2^2}. \qquad (29)$$

Diese enthält eine neue empirische Konstante 1,6 außer der schon vorher eingeführten 3,5 neben den Funktionen f_1 und f_2, in die nur universelle Größen, dann die Quantenzahlen und die Kernladungen eingehen und welche den Relativitätseinfluß messen (vgl. [23]).

Die Darstellung der höheren Terme $M, N, O \ldots$ in analoger Weise wie die des K-Terms aus schon bekannten Termen und passend zu wählenden Frequenzen der höheren Serienglieder ergab nach Sommerfeld:

1. daß keine Wasserstoffähnlichkeit für jene Terme besteht;

2. daß zwischen den Termen die Beziehungen, die man nach dem Kombinationsprinzip erwarten kann, nicht strenge gelten.

So fällt der M_L-Term nach der Formel $\nu_{L\alpha} = \nu_0 (L - M_L)$ nicht völlig mit dem M_K-Term nach $\nu_{K\beta} = \nu_0 (K - M_K)$ zusammen, indem man erhält:

$$M_L = \left(\frac{N-1{,}7}{2{,}84}\right)^2$$

und

$$M_K = \left(\frac{N-1{,}4}{2{,}78}\right)^2.$$

Diese Inkongruenz ist gleichbedeutend damit, daß die Kosselsche Frequenzgleichung

$$L_\alpha = K_\beta - K_\alpha$$

nicht streng erfüllt wird, wie oben erörtert.

Analog ergeben sich für den N-Term verschiedene Werte, je nachdem er aus K_γ und dem K-Term nach der Formel $\nu_{K\gamma} = \nu_0 (K - N_k)$ oder aus L_γ und dem L-Term nach der Formel $\nu_{L\gamma} = \nu_0 (L - N_L)$ hervorgeht, indem folgt:

$$N_K = \left(\frac{N+0{,}7}{3{,}09}\right)^2$$

und

$$N_L = \left(\frac{N+1{,}2}{3{,}25}\right)^2.$$

Entbehrt so die Darstellung der höheren Terme der theoretischen Grundlage, so mag sie zu empirischen Interpolationszwecken immerhin von Nutzen sein.

Versagen der Wasserstoffähnlichkeit der Spektren infolge des Einflusses der äußeren Elektronen im Atom.

Die Bohr-Sommerfeldsche Spektraltheorie bezieht sich zunächst auf das H-Spektrum und H-ähnliche Spektren: die Anwesenheit von mehr als dem einen strahlenden Elektron im Potentialfeld der effektiven Kernladung bleibt unberücksichtigt. Die Röntgenspektren scheinen zum Teil aufs genaueste H-ähnlich: so die Existenz und Größe der Feinstruktur (das L-Dublett), ferner der L- und K-Term und deren Folge, die K_α-Frequenz. Dagegen erwiesen sich die höheren Terme beträchtlich H-unähnlich; ferner zeigt sich insbesondere, daß der K- und L-Term einer bedeutend größeren Frequenz entspricht als die wirklich beobachteten Frequenzen K_A bzw. L_A der Absorptionsbandkanten der betreffenden Serien sind. Wir sollten erwarten, daß mit letzteren als den Seriengrenzen die Terme K und L der Serienformel zusammenfallen. Gehen wir auf die Energiebedeutung von Term und Absorptionsgrenze zurück, so zeigt sich:

Der Term bedeutet die Energie, ein Elektron von der betreffenden Bahn im ungestörten Coulombschen Potentialfeld der effektiven Kernladung bis zur Unendlichkeit (Atomoberfläche) zu schaffen; die wirkliche Ablösearbeit aber wird gemessen durch die Energie, welche der Frequenz der Absorptionskante entspricht. Darin, daß letztere sich kleiner als der Term erweist, zeigt sich nach Kossel[1]) und Sommer-

1) W. Kossel, Ber. d. D. Phys. Ges. **18**, 354, 1916.

feld[1]) der Einfluß der übrigen Elektronen im Atom.

Denkt man sich nämlich diese als Elektronenwolke vereinfachterweise auf einer peripheren Kugelschale vom Radius R im Atom angeordnet, so wird durch sie das Coulombsche Feld der Kernladung nach außen ihrer Ladung gemäß abgeschirmt, nach innen aber ungestört gelassen. Demzufolge wird einerseits die wirkliche Ablösearbeit des Elektrons, die durch die Absorptionsgrenzen ν_A gegeben wird, in Übereinstimmung mit der Erfahrung verkleinert; andererseits wird innerhalb der Wolke ungestörte H-Ähnlichkeit weiter bestehen. Hier sind die K- und L-Bahnen zu suchen, und zwar sowohl die L_1- wie die L_2-Bahn mit ihrer H-ähnlichen Feinstruktur. Hiermit in Übereinstimmung berechnet Sommerfeld aus dem Unterschied zwischen Term und Absorptionsgrenze für den Radius der Elektronenschale einen Wert, der letztere zwischen die L- und M-Bahn verlegt.

Außerhalb der Wolke in größerer Entfernung von dem Atom wird wiederum H-Ähnlichkeit bestehen bei kleiner effektiver Kernladung; das ist das optische Gebiet, dessen Frequenzen durch die Bohrschen Ansätze bezeichnenderweise gerade in den höchsten Seriennummern gut dargestellt werden, deren Entstehung am weitesten von der Wolke entfernt liegt.

Finden Elektronenübergänge zwischen Bahnen durch die Wolke hindurch statt, so müssen Abweichungen von der H-Ähnlichkeit stattfinden ($M, N, \ldots$ Serie und die höheren Seriennummern der K- und L-Serie), die die einfache Theorie ohne spezielle Annahmen nicht meistern kann.

R. Swinne[2]) hat eine ausführliche Prüfung der Sommerfeldschen Theorie an den vorliegenden Messungen mitgeteilt, die im wesentlichen zu ähnlichen Resultaten gelangt wie Sommerfeld selbst; insbesondere findet er als effektive Kernladung des K- bzw. L-Terms ebenfalls $(N-1{,}6)\cdot e$ bzw. $(N-3{,}6)\cdot e$.

Bezüglich einzelner Fragen der Linienzuordnung und der auch von R. Swinne betonten noch ungeklärten Gültigkeitsgrenzen des Kombinationsprinzips vergleiche man die Sommerfeldsche Besprechung Bayr. Ak. 1916, S. 151.

1) A. Sommerfeld. Ann. d. Phys. **51**, 162, 1916.
2) R. Swinne, diese Zeitschr. **17**, 481, 1916. Von Swinne rühren ferner noch interessante Betrachtungen über den möglichen Ursprung der γ-Strahlenspektren bei den instabilen Elementen. Sie beziehen sich auf die Frage, ob charakteristische Spektralserien zu erwarten sind durch den sprungweisen Übergang vom Zustand des ursprünglich vorhandenen Elements zu demjenigen des neu entstandenen.

§ 4. Der Ursprung der K_α-Frequenz nach Debye.

In einer jüngst in dieser Zeitschr. (**18**, 276, 1917) unter dem Titel: „Der erste Elektronenring der Atome" mitgeteilten Untersuchung kommt Debye auf Grund ganz bestimmter Vorstellungen innerhalb des Bohrschen Gedankenkreises zu einer ebenso exakten, d. h. innerhalb der Meßfehler gültigen Darstellung der K_α-Frequenzen der Elemente, wie sie die Sommerfeldsche war (29). Vor der letzteren hat jene den prinzipiellen Vorzug, den letzten empirischen Rest zu vermeiden, der in den zwei effektiven Kernladungswerten 1,6 und 3,5 der Frequenzformel (29) noch steckte und ν als strenge Folge der einfachen Grundannahmen abzuleiten. Diese lauten nach Debye: „Der dem Kern benachbarte K-Ring enthält drei Elektronen in gleichen Winkelabständen, die mit je einem Wirkungsquantum behaftet um den Kern mit der Ladung $N\cdot e$ auf einem Kreise rotieren (Zustand I). Aus diesem Kreise kann ein Elektron entfernt werden und mit zwei Quanten versehen allein auf eine kreisähnliche Bahn gebracht werden, während die zwei übrig gebliebenen Elektronen nun dem Kern näher rücken und in 180° Winkelabstand einen neuen Kreis um den Kern beschreiben (Zustand II). Der Übergang der drei Elektronen von der zweiten Anordnung in die erste erzeugt die K_α-Linie."

Die Durchführung der Rechnung geschieht ganz auf Bohrscher Grundlage, indem die Differenz der Gesamtenergien $W_{\mathrm{I}} - W_{\mathrm{II}}$ des Elektronensystems in den zwei Quantenzuständen nach der Frequenzbedingung II die gesuchte Frequenz ν ergibt:

$$\frac{\nu}{\nu_0} = \frac{3}{4}N^2 + B_p\cdot N + C_p\cdot$$

B_p und C_p sind leicht zu berechnende Zahlen, die von der vorerst unbestimmt gelassenen Anzahl p der Elektronen im K-Ring abhängen. Die Bestimmung von p muß aus dem Vergleich der theoretischen Formel mit den beobachteten Werten von ν nach Siegbahn u. a. gewonnen werden. Das Verfahren Debyes ist folgendes: Bildet man

$$\left(\frac{\nu}{\nu_0} - \frac{3}{4}N^2\right) = \Delta = B_p\cdot N + C_p,$$

so stellt sich Δ in linearer Abhängigkeit von N

dar. Die aus den beobachteten Werten $\nu_{beob.}$ hervorgehenden Werte $\Delta_{beob.}$ für die ersten Elemente von $N = 11$ bis ca. 25 liegen nun genau auf der Linie, die $p = 3$ Elektronen entspricht.

Die Formel wird in diesem Falle:

$$\frac{\nu}{\nu_0} = \frac{3}{4} N^2 - 1{,}464\, N - 0{,}125$$

in guter Übereinstimmung mit der Sommerfeldschen Formel (29), die für kleine N ($j_1 = j_2 = 1$) wie folgt geschrieben werden kann:

$$\frac{\nu}{\nu_0} = \frac{3}{4} N^2 - 1{,}45\, N - 0{,}50\,.$$

Für $N > 25$ treten schnell wachsende Abweichungen der theoretischen Werte von den beobachteten hervor; indessen führt hier, wie bei Sommerfeld, die Berücksichtigung der Veränderlichkeit der Elektronenmasse durch Debye zu einer vollkommenen Darstellung der K_α-Frequenzen mit bei beiden Autoren gleich gutem Anschluß an die Beobachtungen.

Inwieweit die weiteren Sommerfeldschen Resultate (insbesondere die Darstellung des L-Dubletts und der zugehörigen effektiven Kernladungen) sich mit denen von Debye vereinigen lassen, müssen künftige Untersuchungen lehren.

(Eingegangen 20. Juni 1917.)

Personalien.

(Die Herausgeber bitten die Herren Fachgenossen, der Schriftleitung von eintretenden Änderungen möglichst bald Mitteilung zu machen.)

Ernannt: Der Chemiker Dr. H. E. Fierz zum ord. Professor für technische Chemie an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, der a. o. Professor an der Universität Breslau Dr. Clemens Schaefer zum ord. Professor der theoretischen Physik an derselben Universität.

Verliehen: Dem ord. Professor der anorganischen Naturwissenschaften (Bodenkunde, Physik, Klimalehre) an der Forstakademie Hannov. Münden Dr. R. Hornberger der Titel Geh. Regierungsrat.

Vorlesungsverzeichnis für das Wintersemester 1917/18.

Universität Basel.

Hagenbach: Experimentalphysik II: Optik, Wärme und Elektrizität, 6; Physikalisches Praktikum für Vorgerücktere, ganztägig, für Anfänger (mit Veillon und Zickendraht), 8; Physikalisches Kolloquium, 14tägig, 2 *g*. — **Veillon**: Thermodynamik, 2. — **Matthies**: Theorie des elektromagnetischen Feldes, 4. Übungen, 1 *g*; Mathematisch-physikalisches Seminar, für Anfänger, 2 *g*. — **Zickendraht**: Angewandte Physik I: Schwingungslehre mit Anwendungen, 1, V: Wechselstrom mit Demonstrationen, 2, Praktikum, 2. —

Rupe: Organische Experimentalchemie, 5; Chemisches Vollpraktikum: Organische Chemie, tägl.; Chemisches Kolloquium (mit Fichter und Bernoulli), 1. — **Fichter**: Analytische Chemie, 2; Experimentalche mie der seltenen Me alle, 1; Chemie der Kolloide, 1 *g*; Analytisches Halbpraktikum für Anfänger, 9, für Mediziner: Übungen in der qualitativen Analyse; Chemisches Vollpraktikum: Anorganische und elektrochemische Übungen und Arbeiten, tägl. — **Kreis**: Chemie der Nahrungs- und Genußmittel, 2; Übungen in der Untersuchung von Lebensmitteln, 4; Arbeiten im Laboratorium für angewandte Chemie, tägl. — **Bernoulli**: Physikalische Chemie II: Elektrolyse, Reaktionskinetik, Photochemie, 2; Geschichte der Chemie seit Lavoisier, 1; Physikalisch-chemische Übungen und Arbeiten a) tägl., b) 4. —

Hecke: Differential- und Integralrechnung I, 4, Übungen, 1; Zahlentheorie, 4; Seminar (mit Spieß), 1. — **Spieß**: Analytische Geometrie, für Anfänger, 3; Die Grundbegriffe der Mathematik, für Vorgerückte, 4; Geschichte der Mathematik seit dem Mittelalter, 1. — **Flatt**: Pädagogisches Seminar, mathematisch-naturwissenschaftliche Abteilung I, 3; Projektive Geometrie, 2. — **Knapp**: Astrophysik, 2; Astronomische oder allgemeine Chronologie, 1; Populäre Astronomie: Monde, 1; Astronomische Übungen für Anfänger, 2, für Vorgerücktere, 3. —

Universität Berlin.

Rubens: Experimentalphysik II: Elektrizität und Optik, 5, Mathematische Ergänzung, 1 *g*; Physikalisches Kolloquium, $1\frac{1}{2}$ *g*; Arbeiten im Physikalischen Laboratorium, für Geübtere (mit Wehnelt), tägl. — **Planck**: Theorie der Wärme, 4; Mathematisch-physikalische Übungen, 1 *g*. — **Wehnelt**: Mathematische Ergänzungen zum physikalischen Praktikum, 1 *g*; Praktische Übungen für Anfänger (mit Blasius) II: Elektrizität und Magnetismus, 7; Physikalisches Praktikum für Pharmazeuten, 3; Praktikum zur Erlangung von Handfertigkeit für das physikalische Arbeiten, 3. — **Hellmann**: Allgemeine Meteorologie, 2; Meteorologisches Kolloquium, 1 *g*. — **Einstein**: Statistische Mechanik und Quantentheorie, 2. — **Warburg**: Über elektrisches Leitungsvermögen von Metallen, Elektrolyten und Gasen, 2. — **Schmidt**: Erdmagnetismus, 2; Ausgleichungsrechnung, mit Übungen, 1 *g*. — **Neesen**: Elektrische Schwingungen, drahtlose Telegraphie, 2. — **Blasius**: Praktische Übungen für Anfänger (mit Wehnelt) I: Mechanik, Schall, Wärme und Licht, 7; Übungen im Anschluß an das Praktikum, 1 *g*. — **E. Meyer**: Moderne Maschinentechnik, 2; Technische Exkursionen, 14tägig, 1 Nachmittag *g*. — **Born**: Dynamik der Kristallgitter, 3; Entwicklung der physikalischen Anschauungen, 1 *g*. — **Weinstein**: Elektromagnetische Theorie des Lichtes, 4; Vektoranalysis der physikalischen Größen, 2; Geschichte der Physik im Altertum und Mittelalter, 1 *g*. — **Krigar-Menzel**: Theorie der Elektrizität und des Magnetismus, 4. — **Less**: Praktische Witterungskunde, 2. — **Byk**: Mathematische Behandlung der Naturwissenschaften, 2. — **Henning**: Einführung in die Theorie des Schalles, 1. — **Reiche**: Moderne Probleme der Atomdynamik auf quantentheoretischer Grundlage, 3. — **Seeliger**: Hydrodynamik, 2. — **Scheffer**: Angewandte wissenschaftliche Photographie, 1; Grundlagen der Mikroskopie, 1 *g*. —

Fischer: Praktische Arbeiten im Chemischen Laboratorium (mit Gabriel, Traube, Leuchs, Stähler, Schoeller und Schrauth), tägl.; Kursus für Mediziner und Zahnärzte, 3. — **Nernst**: Physikalische Chemie, 4; Praktische Übungen und Arbeiten im physikalisch-chemischen Laboratorium: a) anorganisch-chemisches Praktikum (mit Marckwald), tägl., b) Physiko-chemische Übun-

gen, 7, c) Physiko-chemische Arbeiten, tägl.; Physikochemisches Kolloquium, 1 *g*. — **Beckmann**: Chemische Untersuchungen im Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie, tägl. *g*. — **Wichelhaus**: Technologie: Organische Stoffe, 3; Anleitung im Technologischen Institut (mit Großmann), tägl.: Übungen im Technologischen Institut (mit Großmann), tägl. — **Thoms**: Pharmazeutische Chemie, anorganischer Teil, mit Experimenten, 4; Toxikologische Chemie, mit Experimenten, 1½; Einführung in die chemische Untersuchung von Blut, Harn, Kot, Magensaft usw., 1½; Praktische Übungen in der chemischen Analyse, in der chemischen Prüfung und Wertbestimmung von Arzneimitteln, in der Nahrungsmittelchemie, tägl. — **Traube**: Qualitative chemische Analyse, 1½. — **Stock**: Anorganische Experimentalchemie, 5; Anorganisch-chemische Arbeiten, tägl. — **Biedermann**: Explosivstoffe, 2 *g*. — **Neuberg**: Arbeiten auf dem Gebiete der Biochemie, tägl.; Organisch-chemische Arbeiten, tägl. — **Pschorr**: Organische Chemie I: Die offenen Kohlenstoffketten, 4; Praktische Arbeiten im Organischen Laboratorium der Technischen Hochschule, tägl. — **Fock**: Einleitung in die Physik und Chemie, 1; Elemente der Kristallographie, 1. — **Rosenheim**: Anorganisch-chemisches Praktikum (mit R. J. Meyer), tägl.; Übungen in der Experimentalchemie, besonders für Lehrer und Lehrerinnen (mit R. J. Meyer), 4; Praktische Übungen in der Gas- und Maßanalyse, 4. — **Jacobson**: Besprechung chemischer Tagesfragen, 1. — **Spiegel**: Organische Chemie, 3. — **Sachs**: Chemie der Farbstoffe, 1. — **Meisenheimer**: Anorganische Experimentalchemie, 4; Anorganisch- und organisch-chemisches Praktikum, tägl. — **R. J. Meyer**: Beziehungen zwischen physikalischen Eigenschaften und chemischer Zusammensetzung, 1 *g*. — **Großmann**: Chemische Industrie und Weltwirtschaft, 1; Besprechung chemisch-technischer und wirtschaftlicher Tagesfragen, für Chemiker, Nationalökonomen und Juristen, mit Exkursionen, 1½. — **Stähler**: Repetitorium der anorganischen Chemie, 2. — **Houben**: Arbeitsmethoden der organischen und anorganischen Chemie, 1. — **Leuchs**: Einführung in die organische Chemie I: Alphatische Verbindungen, 1. — **Pringsheim**: Einführung in die physiologische Chemie, 1½. — **Anselmino**: Sterilisation der Heilmittel, 1. — **Schoeller**: Die metallorganischen Verbindungen, 1. —

Schwarz: Elementargeometrische Herleitung der wichtigsten Eigenschaften der Kegelschnitte, 2 *g*; Mathematisches Seminar (mit Schottky), 2 *g*. — **Foerster**: Geschichte der Astronomie, 2 *g*; Zeit- und Ortsbestimmung, 1 *g*; Meteore und Kometen, 1 *g*. — **N. N.**: Zahlentheorie, 4. — **Schottky**: Elliptische Funktionen, 4; Krümmungstheorie der Kurven und Flächen, 4. — **Struve**: Einleitung in die Theorie der Planetenmonde, 3; Übungen an den Instrumenten der Sternwarte, nach Vereinbarung, *g*. — **Cohn**: Bahnbestimmung der Himmelskörper, 4; Übungen, 2 *g*. — **Schmidt**: Funktionentheorie I, 4; Mengenlehre, 4; Mathematisches Seminar, 2 *g*. — **Rothe**: Integralrechnung, 4. — **Knopp**: Algebra, 4; Differential- und Integralrechnung I: Differentialrechnung, 4, Übungen, 14tägig, 2 *g*; Mathematisches Proseminar (mit Schur), 14tägig, 2 *g*. — **Guthnick**: Photographie der Gestirne, 2. — **v. Bortkiewicz**: Bevölkerungsstatistik und Bevölkerungstheorie, 1½; Mathematische Statistik, für Mathematiker, 1 *g*. — **Schur**: Analytische Geometrie, 4; Ergänzungen zur Differential- und Integralrechnung, 4. — **Marcuse**: Geographische Ortsbestimmung, mit Übungen, 1½; Einführung in die mathematische Geographie und Erdphysik, mit Lichtbildern, 1½; Allgemeine Himmelskunde mit Lichtbildern und gelegentlichen Fernrohrbeobachtungen, 1½. — **Witt**: Wissenschaftliches Rechnen, 2; Übungen am Fernrohr, 6 *g*. — **Schweydar**: Bedeutung der Schwerkraft für die höhere Geodäsie, 2; Die Erde als Himmelskörper, 1. —.

Technische Hochschule Berlin.

Kurlbaum: Experimentalphysik: Mechanik, Akustik, Elektrizität, 4, für Architekten, 2; Physikalische Übungen, 16. — **Grunmach**: Magnetische und elektrische Maßeinheiten und Meßmethoden, 2; Physikalische Maßbestimmungen und Meßinstrumente (Physikalische Übungen), 10. — **Kalischer**: Die physikalischen Grundlagen der Elektrotechnik II, 2; Grundzüge der Potentialtheorie und ihre Anwendung in der Elektrizitätslehre, 2; Elektrische Schwingungen und drahtlose Telegraphie, 1. — **Korn**: Ausgewählte Kapitel der Potentialtheorie, 2. — **Krigar-Menzel**: Allgemeine Mechanik I: Gleichgewicht und Bewegung von Massenpunkten und starren Körpern, 4; Theoretische Akustik, 2. — **Berndt**: Radioaktivität, 1. — **Felgentraeger**: Maß- und Gewichtswesen I, 2; Die Konstruktion der Spiegel- und Linseninstrumente, 2. — **Gehlhoff**: Physikalische Grundlagen der Beleuchtungstechnik, 2. — **Kaßner**: Wetterkunde für Techniker, mit Beispielen aus der Praxis, 1. — **Kock**: Hochspannungserscheinungen und Messungen, 2; Drahtlose Telegraphie und Hochfrequenztechnik, 3. — **Lichtenstein**: Randwertaufgaben der Potentialtheorie I, 2. — **Möller**: Schwingungsprobleme, 2. — **Petzoldt**: Raum, Zeit, Bewegung, Äther, 1 *g*. — **Pirani**: Anwendungen der graphischen Darstellung und des graphischen Rechnens auf physikalische Fragen, 1. — **Orlich**: Theoretische Elektrotechnik II, 2, Übungen, 1, III, 2; Elektrotechnische Meßkunde I und II, 2; Elektrotechnisches Laboratorium I, II und III, 4, für Fortgeschrittene, tägl. — **Wedding**: Grundlagen der Elektrotechnik, 4, Übungen, 1; Elektromaschinenbau I und II (abgekürzte Vorlesung), 2; Beleuchtungstechnisches Laboratorium für Fortgeschrittene, tägl.; Elektrotechnik für Chemiker, 1, für Bergleute, 2, Übungen, 1. — **Franke**: Elektrische Fernmeldetechnik, einschließlich drahtlose Telegraphie, I: Grundlagen, 4, III: Anlagen, 2; Entwerfen von Instrumenten und Apparaten der Meß- und Fernmeldetechnik, Übungen, 2; Laboratorium für Fernmeldetechnik, 6, für Fortgeschrittene, tägl. — **Kloß**: Elektromaschinenbau II, 4, Übungen, 1; Entwerfen elektrischer Maschinen, II, Übungen, 4; Elektrotechnisches Versuchsfeld, 4, für Fortgeschrittene, tägl. — **v. Parseval**: Motorluftschiffe, 2; Flugzeuge, 2; Übungen im Bau von Luftfahrzeugen, 2. — **W. Reichel**: Elektrische Kraftanlagen und Bahnen I, 2, III, 2; Entwerfen elektrischer Kraftanlagen und Bahnen, Übungen, 4. — **Becker**: Flugmotoren und Luftschiffmotoren, 2. — **Benischke**: Allgemeine Wechselstromtechnik, 4; Spezielle Wechselstromtechnik für Hochspannungsanlagen, 1. — **Breslauer**: Berechnung und Prüfung elektrischer Maschinen nach den in der Praxis herrschenden Gepflogenheiten, 2. — **Everling**: Luftfahrtinstrumente, Messungen an und in Luftfahrzeugen, 1. — **Faßbender**: Einführung in die drahtlose Telegraphie, 2. — **Gerstmeyer**: Kommutator-Motoren für Wechselstrom und Drehstrom, 1. — **Rüdenberg**: Elektrische Schaltvorgänge und Wanderwellen, 2. — **Wagner**: Schutz elektrischer Anlagen gegen Überspannungen, 2. — **Zehme**: Elektrische Haupteisenbahnen und Zwischenstadtbahnen, 2. — **Krell**: Schiffselektrotechnik, 2. — **Dietzius**: Luftschiffbau und Luftschiffahrt, 1. — **Schaffran**: Luft- und Wasserpropeller-Versuche, 1. — **Günther**: Anwendung der Photographie zum Messen in der Technik; Photogrammetrie, mit Lichtbildern und Demonstrationen, 2. —

Hofmann: Experimentalchemie, 4; Praktische Arbeiten im anorganischen Laboratorium, tägl.; Ausgewählte Kapitel aus der Chemie (mit Wirth), 2. — **N. N.**: Chemie der Nahrungsmittel mit Berücksichtigung der Nahrungsmittel-Analyse und Bakteriologie, 4; Chemisch-technische Analyse, 2. — **Dolezalek**: Physikalische Chemie einschließlich theoretische Elektrochemie, 4; Kleines physikalisch-chemisches und elektrochemisches Praktikum, 2 halbe Tage; Praktische Arbeiten im physikalisch-chemischen und elektrochemischen Institut, tägl. — **Holde**: Untersuchung von Fetten, Ölen, Wachsen und Seifen, 2. — **Miethe**: Spektralanalyse, 2, mit Übungen; Allgemeine Photographie: Apparatenkunde, Übersicht über die gebräuchlichen photographischen Prozesse, 2; Einführung in die photographische Optik, 1; Astronomische Photographie mit Übungen am photographischen Refraktor

(300 mm), 1, Übungen, 3; Praktische Arbeiten im photochemischen Laboratorium, speziell für Photochemiker, tägl.; Photographische Übungen in den gebräuchlichen Prozessen, 16; Spektrographisches und spektralanalytisches Praktikum für Fortgeschrittenere, 1. — **Pschorr**: Organische Chemie I: Die offenen Kohlenstoff-Ketten, 4; Praktische Arbeiten im organischen Laboratorium, tägl. — **Reisenegger**: Chemische Technologie I: Wärme, Wasser, Anorganische Verbindungen (Chemische Großindustrie), Apparatenkunde, mit Exkursionen, 4; Praktische Arbeiten im technisch-chemischen Institut, tägl. — **Traube**: Einleitung in die physikalische Chemie, 2; Physikalisch-chemische Übungen, 3; Chemie der Kolloide, 1. — **Stavenhagen**: Anorganische Experimentalchemie für Bergleute, 4; Praktische Arbeiten im Chemischen Laboratorium der Bergbau-Abteilung, tägl.; Einführung in die Experimentalchemie, 2. — **Wölbling**: Analytische Chemie, für Bergleute, 2; Chemisches Kolloquium für Bergleute, 1. — **Arndt**: Die elektrochemische Industrie, 2. — **Börnstein**: Die Brennmaterialien, ihre Bearbeitung und Verwendung, 2. — **Bucherer**: Einführung in die Praxis des Patentwesens, 1. — **Byk**: Einführung in die mathematische Behandlung der Naturwissenschaften, 2. — **Endell**: Ausgewählte Kapitel der Mineralchemie nebst technischen Anwendungen, 1. — **v. Girsewald**: Über die Zusammensetzung und die Wertbestimmung der Brennstoffe, 1. — **Grüttner**: Stereochemie anorganischer Verbindungen I, 1. — **Herrmann**: Radioaktive Prozesse, 1. — **Just**: Chemische Reaktionskinetik, 1. — **Lehmann**: Die Farbenphotographie, 1. — **Liebermann**: Theorien der organischen Chemie, 1. — **Loewenherz**: Erläuternde Vorträge zu den Führungen durch das Chemische Museum, anorganischer Teil, 1 *g*; Die Produkte der chemischen Industrie, ausgewählte Kapitel, anorganischer Teil, 1 *g*. — **Schaarschmidt**: Technologie der Teerfarbenstoffe, 2. — **Scheibler**: Über heterozyklische Verbindungen, 1. — **Seegert**: Spektroskopische Untersuchungsmethoden, 1. — **Simonis**: Repetitorium der organischen Chemie, 2. — **Ullmann**: Technik der künstlichen Farbstoffe, 1. — **Voswinckel**: Einführung in die organische Chemie, 2. — **Wirth**: Analytische Chemie, 1. — **Wolffenstein**: Die Chemie der Alkaloide, 2. — **Scheffers**: Darstellende Geometrie I, 5, Übungen, 5. — **Dziobek**: Höhere Mathematik: Differential- und Integralrechnung, Analytische Geometrie, 6, Übungen, 2. — **Haentzschel**: Elemente der Differential- und Integralrechnung und der analytischen Geometrie, 4, Übungen, 2 *g*. — **Jolles**: Darstellende Geometrie I, 4, Übungen, 4; Graphische Statik, 2, Übungen, 2. — **Lampe**: Höhere Mathematik: Differential- und Integralrechnung, Analytische Geometrie, 6, Übungen, 2; Bestimmte Integrale und Differentialgleichungen, 2. — **Rothe**: Höhere Mathematik: Differential- und Integralrechnung, Analytische Geometrie, 6, Übungen, 2; Graphische Methoden der Analysis mit Anwendungen, 2. — **Wallenberg**: Ausgewählte Kapitel der Elementarmathematik, 2; Funktionentheorie I, 2; Potentialtheorie, 2. — **Schuberg**: Elemente der darstellenden Geometrie, 1, Übungen, 3; Maschinenelemente, für Chemiker, 1, mit Übungen im Maschinenzeichnen, 3; Allgemeine Maschinenlehre: Grundlagen der Dampfmaschinen, Dampfkessel, Gasmotoren, Arbeitsmaschinen, für Chemiker, 2, mit Übungen im Maschinenzeichnen 3; Die technischen Einrichtungen chemischer Fabriken I, 1, Übungen, 3. — **Jahnke**: Höhere Mathematik und technische Mechanik I und II, für Bergleute, 6, Übungen, 2. — **Haußmann**: Vermessungskunde I und Meßübungen I, 4, Übungen, 2, III, 2; Planzeichnen zugleich Bearbeitung der Aufnahmen, 2. — **Reißner**: Mechanik und graphische Statik I, 4, Übungen, 2, II, 6, Übungen, 4. — **Wolff**: Niedere Geodäsie im Abriß, 2. — **W. Hartmann**: Kinematische Geometrie und theoretische Kinematik, 2; Maschinengetriebe: Anwendungen der Kinematik, 2. — **E. Meyer**: Mechanik I, 4, Übungen, 2, II, 4, Übungen und Festigkeits-Laboratorium, 2. — **Fuchs**: Partielle Differentialgleichungen nebst Anwendungen, 2. — **Jacobsthal**: Algebra II, 4; Einführung in die Lehre von den Determinanten, 2. —

Universität Bern.

Forster: Experimentalphysik II: Magnetismus, Elektrizität, Wärme, 6; Theoretische Optik, 1 *g*; Repetitorium der Physik, 2; Physikalisches Praktikum, 8; Kurs der wissenschaftlichen Photographie: Mikrophotographie, Spektrographie, Röntgenphotographie, 2; Arbeiten im physikalischen Institut, nach Verabredung. — **Gruner**: Theorie der Elektrizität und des Magnetismus, 3, Übungen, 1; Vektoranalysis mit Anwendung auf die Potentialtheorie, 2; Mechanik deformierbarer Körper, 2; Seminar für theoretische Physik, nach Vereinbarung. — **Blattner**: Theorie der Wechselströme, 1; Lösung von Aufgaben aus dem Gebiete der Elektrotechnik, 1. — **Luterbacher**: Dynamik, ausgewählte Kapitel, 2. — **Koestler**: Ausgewählte Kapitel zur mathematischen Behandlung physikalischer Probleme, 1–2; Hochspannungs-Elektrotechnik, 1–2. —

Kohlschütter: Allgemeine und anorganische Experimentalchemie, 2 und 6; Anorganisch-chemisches Praktikum, tägl.; Chemisches Praktikum, 6, für Mediziner, 8. — **Frl. Woker**: Arbeiten im Laboratorium für physikalisch-chemische Biologie, ganz- oder halbtägig; Kurs für die Untersuchung von Körperflüssigkeiten: Harn, Blut, Milch, Magensaft, 4; Die Theorie der Fermentwirkungen, 1; Ausgewählte Kapitel aus dem Gebiete der Katalyse, 1; Die physikalische Chemie der Zelle, 1. — **Ephraim**: Physikalische Chemie, 2; Repetitorium der anorganischen Chemie, für Chemiker, 2; Elektrochemisches Praktikum, 4. — **Mai**: Repetitorium der anorganischen Chemie für Mediziner und Lehramtskandidaten, 2. — **Tambor**: Organische Chemie II, 5; Repetitorium der organischen Chemie I, 1; Organisch-chemisches Vollpraktikum, tägl. — **Abelin**: Chemie der Gärung, 1. — **Schaffer**: Chemie der Nahrungs- und Genußmittel I, 2; Chemische Technologie der Lebensmittelgewerbe, nach Verabredung. —

Graf: Kugelfunktionen I, mit Repetitorium, 4; Besselsche Funktionen II, mit Repetitorium, 4; Integralrechnung, mit Repetitorium (eventl.: Differential- und Integralrechnung), 3; Funktionentheorie I, 2; Differentialgleichungen II, 2; Renten- und Versicherungsrechnung I, 2; Mathematisches Seminar (mit Huber), $1^1/_2$. — **G. Huber**: Mechanik des Himmels, 2; Theorie der algebraischen Flächen, 3; Fouriersche Reihen und Integrale, mit Anwendungen auf die Physik, 2; Mathematisches Seminar (geometrische Richtung) (mit Graf), 1. — **Ott**: Algebraische Analysis II, 2; Sphärische Trigonometrie mit Anwendungen, 2; Integralrechnung, 2; Analytische Geometrie II, 2; Mathematische Übungen, 1; Mathematische Übungen und Repetitorium, 1. — **Benteli**: Darstellende Geometrie, Kurven, Strahlenflächen, reguläre Polyeder, 2, Übungen und Repetitorium, 2; Praktische Geometrie I, 1. — **Mauderli**: Unterrichtsfragen aus dem Gebiete der Astronomie und der mathematischen Geographie, 1; Astronomische und topographische Ortsbestimmung für Geologen und Forschungsreisende, 1; Der Bau des Universums im Lichte neuester Forschung, 1–2. — **Th. Huber**: Natürliche Geometrie, 1; Ebene Kurven dritter Ordnung, 1. — **Crelier**: Synthetische Geometrie III; $n =$ Dimensionale Geometrie. — **Berliner**: Höhere Algebra (Fortsetzung), 1–2. — **Moser**: Mathematische Untersuchungen betreffend Witwen- und Waisenkassen, nach Verabredung; Ausgewählte versicherungswissenschaftliche Kapitel, 1–2; Mathematisch-versicherungswissenschaftliches Seminar, 1–2. — **Bohren**: Politische Arithmetik, 2; Methode der kleinsten Quadrate, 2. —

Universität Bonn.

Kayser: Experimentalphysik II: Magnetismus, Elektrizität, Optik, 5; Laboratorium für Anfänger, 8, für Vorgeschrittene, tägl. — **Eversheim**: Grundzüge der Elektrotechnik (technische Vorlesung), 1 *g*; Angewandte Elektrizitätslehre mit Übungen, 2; Physikalisches Praktikum für Mediziner, 2. — **A. Pflüger**: Mechanik, Elastizität, Hydrodynamik, 5. — **Bucherer**: Mathematische Einführung in die Elektrizitätslehre, 1 *g*. —

Anschütz: Experimentalchemie II: Organische Chemie, 6; Kolloquium über neuere Arbeiten auf dem Gebiete der Chemie, 1 *g*; Chemisches Praktikum für Anfänger und Vorgeschrittene sowie für Pharmazeuten und Nahrungsmittelchemiker (mit Benrath, Frerichs und Kippenberger), tägl., für Mediziner (mit Benrath), tägl. außer Sonnabend. — **Rimbach**: Physikalische Chemie I: Atom- und Molekulartheorie, Eigenschaften der Stoffe, Verwandtschaftslehre, 3; Polarimetrie und Refraktometrie und ihre praktisch-chemischen Verwendungen, 1 *g*; Chemisches Rechenseminar: Unterstufe: Stöchiometrische und chemisch-analytische Aufgaben, 14tägig, 2 *g*, Oberstufe: Physikalisch-chemische Aufgaben, 14tägig, 2 *g*; Übungen in den wichtigsten physikalisch-chemischen Meßmethoden, 3. — **Benrath**: Metalle und Salze, 1; Spezielle anorganische Chemie: Seltenere Elemente, 1 *g*; Qualitative Analyse, 2; Experimentierübungen für Lehramtskandidaten, 1. — **Frerichs**: Pharmazeutische Chemie I, anorganisch, 3. III: Zyklische Verbindungen, 1 *g*; Arzneimittelprüfung, 1. — **Gewecke**: Einführung in die Chemie, 2; Repetitorium der anorganischen und analytischen Chemie, 2. — **Mannheim**: Sterilisieren von Arzneimitteln, 1; Wasser- und Harnanalyse, 1; Einführung in das chemische Praktikum, für Pharmazeuten, 1. — **Kippenberger**: Chemische Technologie, anorganischer Teil, mit Exkursionen, 2; Einführung in die chemische Großtechnik I: Anorganisch-chemische Betriebe, mit Exkursionen, 1 *g*; Besprechung nahrungsmittel-technischer Gutachten, 1 *g*. — **Laar**: Illustrationsverfahren mit Besichtigungen, 1; Übungen in ausgewählten photographischen Verfahren, tägl. —

Study: Einleitung in die Funktionentheorie, 4; Mathematisches Seminar: Oberstufe: Vortragsübungen, 14tägig, 2 *g*; Kolloquium über Invariantentheorie, 1 *g*. — **Hahn**: Differential- und Integralrechnung II, 4, Übungen, 1 *g*; Algebraische Gleichungen, 4. — **N. N.**: Einleitung in die analytische Geometrie, 4, Übungen, 1 *g*; Darstellende Geometrie, einleitende Vorlesung, mit Übungen, 2. — **Küstner**: Sphärische Astronomie, 3; Fixsternkunde, 1 *g*; Praktische Übungen im astronomischen Beobachten, tägl. —

Technische Hochschule Braunschweig.

Dießelhorst: Experimentalphysik: Elektrizität und Magnetismus, 4, Übungen, 1; Physikalisches Praktikum I u. II, tägl.; Physikalisches Kolloquium, 14tägig, 2 *g*. — **Weber**: Potentialtheorie mit Anwendungen auf die Elektrostatik, 2. — **Bergwitz**: Atmosphärische Elektrizität, 1; Radioaktivität, 1. — **Witte**: Theorie des Elektromagnetismus, 4. — **Micheler**: Einführung in die Photographie, 1; Die Photographie in natürlichen Farben, 1; Spezielle Photographie, 2; Photographische Übungen, nach Übereinkunft, für Anfänger und Fortgeschrittene, 3. — **Peukert**: Grundzüge der Elektrotechnik, 2; Allgemeine Elektrotechnik, 4; Elektrotechnische Übungen, 2; Elektrotechnisches Praktikum, 6; Arbeiten im elektrotechnischen Laboratorium, für Fortgeschrittenere, 9. — **N. N.**: Elektromaschinenbau, 4, Konstruktionsübungen, 4, Praktische Übungen, 1; Elektrische Kraftbetriebe, 2, Übungen, 2. — **Meyer**: Unorganische Experimentalchemie, 5; Chemie der organischen Faserstoffe, 3; Arbeiten im chemischen Laboratorium, tägl.; Chemisches Kolloquium (mit Freundlich), nach Verabredung, *g*. — **Biehringer**: Analytische Chemie, 2; Grundzüge der Chemie, 3. — **Freundlich**: Physikalische Chemie, 2; Metallurgie, 2; Chemie der Metalle, 1; Arbeiten im Laboratorium für physikalische Chemie und Elektrochemie, tägl. — **Reinke**: Chemische Technologie II_1, 6; Chemisch-technische Analyse I, 2; Arbeiten im Laboratorium für chemische Technologie II und landwirtschaftlich-chemische Gewerbe, tägl.; Chemische Technologie in den deutschen Kolonien mit Berücksichtigung der tropischen und kolonialen Landwirtschaft, 1; Seminaristische Übungen auf dem Gebiete der chemischen Technologie II, monatlich 2 *g*. — **Beckurts**: Chemie der Nahrungs- und Genußmittel, 2; Gerichtliche Chemie, 1 (im Anschluß: **Nehring**: Der naturwissenschaftliche Sachverständige in der Kriminalistik); Grundzüge der Maßanalyse, 1; Pharmazeutische Chemie, 4; Arbeiten im Laboratorium für pharmazeutische Chemie und Nahrungsmittelchemie und in der Nahrungsmitteluntersuchungsstelle, tägl. — **Troeger**: Analytische Chemie, 2; Chemie der Benzolderivate, 2; Repetitorium der anorganischen und organischen Chemie, 2. — **Emde**: Organische Stoffe mit physiologischer Wirkung (Arzneimittelsynthese), 1. —

Fricke: Analytische Geometrie und Algebra, 4; Differential- und Integralrechnung I, 4, Übungen, 2, II, 2. — **Timerding**: Darstellende Geometrie, 4, Übungen, 6; Synthetische Geometrie, 2. — **Falckenberg**: Algebraische Analysis, 2. — **N. N.**: Statik starrer und elastisch-fester Körper, 4, Übungen, 2. — **Schlink**: Technische Mechanik II: Dynamik, 3, Übungen und Repetitionen, 2; Die Grundlagen des Fliegens und die verschiedenen Arten von Flugzeugen, 1; Graphische Statik, 2, Übungen, 2; Eisenhochbauten, ihre Berechnung und Konstruktion, 2, Übungen, 4; Statik der Baukonstruktionen I, 3, Übungen, 4. — **N. N.**: Grundzüge der Geodäsie, 1, Übungen, 1; Geodäsie II, 3, Übungen, 1; Höhere Geodäsie, 2; Ausgleichungsrechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate, 2; Planzeichnen, 4. —

Universität Breslau.

Lummer: Experimentalphysik II: Elektrizität, Magnetismus, Optik, 5; Physikalisches Praktikum für Anfänger (mit Schaefer, Waetzmann und Ladenburg), 3, für Geübtere, tägl., für Mediziner (mit Ladenburg), 3, für Pharmazeuten (mit Waetzmann), 3; Physikalisches Kolloquium (mit Schaefer), 2 *g*. — **Schaefer**: Theorie der Optik, 4. — **Ladenburg**: Repetitorium der Physik I: Mechanik, Akustik, Wärme, 2. — **Riesenfeld**: Photographisches Praktikum, 2; Die Photographie und ihre Technik, 1 *g*. —

Biltz: Organische Experimentalchemie, 6; Chemische Referate für Vorgeschrittenere (mit Meyer und Koenigs), 14tägig, $1^1/_2$ *g*; Chemisches Praktikum, unorganische Abteilung, ganz- und halbtägig, tägl. außer Sonnabend, organische Abteilung, ganztägig, für Mediziner (mit Meyer), 4, für Landwirte, 4. — **Herz**: Die physikalisch-chemischen Grundlagen der analytischen Chemie, 2; Grundlagen der Maßanalyse, 1; Anwendungen der Maßanalyse, mit besonderer Berücksichtigung des Deutschen Arzneibuches, 1; Besprechungen zur qualitativen Analyse, 1 *g*. — **Gadamer**: Organische Experimentalchemie, mit besonderer Berücksichtigung der Pharmazie, 6; Prüfung der Arzneimittel, 1 *g*; Praktisch-chemische Übungen, mit besonderer Berücksichtigung der Pharmazie, der forensischen Chemie und Nahrungsmittelchemie, tägl. außer Sonnabend; Kleines chemisches Praktikum, 6. —

Sturm: Analytische Geometrie der Ebene, 3. — **Kneser**: Partielle Differentialgleichungen der Physik, 4; Elliptische Funktionen, 2; Übungen des mathematisch-physikalischen Seminars, 2 *g*. — **N. N.**: Übungen des mathematisch-physikalischen Seminars, 2 *g*; Integralrechnung, 4; Algebraisch auflösbare Gleichungen, 2. — **Steinitz**: Projektive (synthetische) Geometrie, 4; Determinanten, 2. — **Wilkens**: Bahnbestimmung der Planeten und Kometen, 3, Übungen, 1 *g*; Astronomisches Seminar, 2 *g*; Übungen an den Instrumenten der Sternwarte, nach Verabredung, *g*; Allgemeine Astronomie, 1 *g*. —

Technische Hochschule Breslau.

Lummer: Experimentalphysik; Magnetismus, Elektrizität, Optik, 5; Physikalisches Praktikum, 3. — **Hilpert**: Elektrotechnik I, 4; Elektromaschinenbau I und II, 2; Übungen im Elektromaschinen- und Apparatebau, 4; Elektrotechnisches Laboratorium II, 4, III, 8; Kolloquium im Elektrotechnischen Institut, 14tägig, *g*. — **Euler**: Elektrotechnische Meßkunde I und II, 2; Elektrische Kraftanlagen I, 2; Übungen im Bau elektrischer Kraftanlagen und Bahnen, 4. — **Große-Leege**: Fernsprechtechnik, 2. —

Ruff: Allgemeine und anorganische Experimentalchemie, 5; Anorganisch-chemisches Praktikum, tägl.; Chemisches Kolloquium (mit Eucken, Neumann und Semmler), 14tägig, 2 *g*. — **Neumann**: Anorganisch-chemische Technologie, 4; Chemisch- und elektrochemisch-technisches Praktikum, tägl. — **Semmler**: Organische Technologie, 3; Organisch-chemisches Praktikum, tägl. — **Eucken**: Physikalische Chemie I und II, 3; Physikalisch-chemisches Praktikum für Fortgeschrittene, tägl.; Übungen in physikalischer Chemie und Elektrochemie, 4. — **Nauß**: Technische Gasanalyse, 1. —

Dehn: Höhere Mathematik III, 2, Übungen, 2; Höhere Mathematik für Chemiker und Hüttenleute, 3, Übungen, 1. — **Hessenberg**: Darstellende Geometrie I, 4, Übungen, 4; Kinematik, nach Verabredung. — **Mann**: Mechanik: Graphische Statik I, 3, Übungen, 2, III, 3, Übungen, 2; Eisenhochbau einschließlich Eisenbetonbau I, 2, Übungen, 3; Statik der Baukonstruktionen I, 1; Ausgewählte Kapitel aus der Mechanik, 2. — **Steinitz**: Höhere Mathematik I, 5, Übungen, 3; Potentialtheorie, 2. — **von dem Borne**: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Luftschiffahrt: Theorie der Luftschiffahrt, 2. —

Technische Hochschule Danzig.

Krüger: Experimentalphysik I, 5; Kleines physikalisches Praktikum, 4; Großes physikalisches Praktikum, tägl. — **Kalähne**: Einführung in das physikalische Praktikum, 1; Theoretische Ergänzungen zur Experimentalphysik, 2; Photographie und photographische Reproduktionsverfahren, 1, Übungen I, für Anfänger, II, für Fortgeschrittene, 3; Anleitung zu selbständigen wissenschaftlichen Arbeiten im photophysikalischen Laboratorium, tägl. — **Försterling**: Elektrodynamik, 3. — **Roeßler**: Elektrotechnik II, 4; Elektrotechnisches Laboratorium II, 6, III, 9, IV, für Fortgeschrittene (Elektrotechniker), 11; Projektierung elektrischer Anlagen, 2, Übungen, 4, für Maschinenbauer und Schiffsmaschinenbauer, 2; Berechnung und Entwurf elektrischer Maschinen (mit Roth), 2, Übungen, 4. — **Grix**: Elektrische Hausinstallationen und Beleuchtungstechnik, 1; Elektrische Bahnen, 2, Übungen, 4; Schwachstromtechnik, einschließlich Hochfrequenztechnik, 2. — **Roth**: Elektromaschinenbau, 1, Übungen, 4, für Elektrotechniker, 1; Elektrotechnische Meßkunde, 2. — Apparate- und Schalttafelbau, 2, Übungen, 4. —

v. Wartenberg: Anorganische Experimentalchemie, 4; Praktikum im anorganisch-chemischen und elektrochemischen Laboratorium (mit Jellinek), 49. — **Wohl**: Organische Experimentalchemie I, 4; Praktikum im organisch-chemischen Laboratorium, 49; Praktikum im Laboratorium für landwirtschaftliche Gewerbe, 49. — **N. N.**: Physikalische Chemie I und II, 2; Einführung in die mathematische Behandlung der Naturwissenschaften, 3; Übungen zur Mathematik, 1; Kleines physikalisch-chemisches Praktikum I und II, 4; Großes physikalisch-chemisches Praktikum, 49. — **Jellinek**: Analytische Chemie II, 2. — **Claasz**: Chemie und Technologie organischer Farbstoffe, 2. — **Glimm**: Spezielle Technologie der Gärungsgewerbe, 2; Chemie und Technologie der Nahrungs- und Genußmittel, 4; Praktikum für Untersuchung der Nahrungs- und Genußmittel sowie Gärungsphysiologie, 49; Kurse für Gärungsgewerbe, nach Verabredung. —

v. Mangoldt: Höhere Mathematik II, 4, Übungen, 1. — **Schilling**: Darstellende Geometrie, 3, Übungen, 5. — **Lorenz**: Dynamik starrer Körper, 2, Übungen, 2; Festigkeitslehre und Hydraulik, 4, Übungen, 3. — **Sommer**: Höhere Mathematik I, mit Übungen, 6. — **v. Brunn**: Theorie der Bahnbestimmung der Planeten und Kometen, 2. —

Technische Hochschule Darmstadt.

Schering: Allgemeine Physik mit Versuchen: Mechanik der festen, flüssigen und gasförmigen Körper, Wärme, Geometrische Optik, Wellenlehre des Lichtes, Akustik, 5; Physikalische Übungen (mit Zeißig), 4 Nachmittage; Selbständige Arbeiten aus dem Gebiete der Physik (mit Zeißig), nach Verabredung; Mechanische Wärmetheorie, 2; Besprechung neuerer physikalischer Arbeiten (mit Zeißig), 1 *g*. — **Zeißig**: Allgemeine Physik mit Versuchen: Mechanik der festen, flüssigen und gasförmigen Körper, Wärme, Akustik, Optik, 4; Physikalische Meß- und Instrumentenkunde, 1 *g*; Seismometrie und Anwendungen, 1 *g*; Ausgewählte Kapitel aus der allgemeinen Physik, für Pharmazeuten, 1. — **Baerwald**: Allgemeine Elektronik I: Kathodenstrahlen, Kanalstrahlen und verwandte Erscheinungen, 2. — **Meisel**: Theorie der optischen Instrumente I, 2. — **Limmer**: Photographische Übungen für Anfänger und Fortgeschrittene, A, 3, B, 3; Ausgewählte Kapitel aus der Photographie, 2; Die Herstellung von Lichtbildern und Vergrößerungen, Übungen, 2; Photographisches Kolloquium, 1 *g*; Grundlagen der Kinematographie, mit Übungen, 1. — **Wirtz**: Allgemeine Elektrotechnik I: Elemente der Elektrotechnik, 3; Elektrotechnische Meßkunde II: Anwendung auf die verschiedenen Gebiete der Elektrotechnik, 2; Übungen im elektrotechnischen Laboratorium (mit Sengel) I: Übungen im Gebrauch der Meßinstrumente und Meßverfahren, II: Messungen an Gleich- und Wechselstrommaschinen, Motoren und Umformern, III: Selbständige Arbeiten für vorgeschrittenere Studierende (mit Sengel und Petersen), nach Verabredung, IV: Ausgewählte Übungen aus Praktikum I und II, 4 halbe Tage; Hochfrequenztechnik: Elektrische Wellen, 2; Radioteleg raphisches Praktikum, nach Verabredung. — **N. N.**: Allgemeine Elektrotechnik II: Gleich- und Wechselstromtechnik, 4. — **Petersen**: Allgemeine Elektrotechnik, Übungen, 2; Übungen im Hochspannungslaboratorium, 2; Grundzüge der Hochspannungstechnik, 1. — **Sengel**: Konstruktion elektrischer Maschinen und Apparate, 3, Übungen, 3; Elektrische Licht- und Kraftanlagen, 2, Übungen, 2; Elektrische Bahnen, 2. — **Goldschmidt**: Elektrischer Antrieb von Werkzeug-, Bergwerks- und Hüttenmaschinen, 2. — **Eberhardt**: Luftschiffahrt, 2; Flugtechnik, 2; Luftschrauben, 2, Übungen, 6. — **Linke**: Aeronautische Meteorologie, 2. — **Schleiermacher**: Aerodynamik in Beziehung zur Luftfahrt, 2 *g*; Rechenapparate und wissenschaftliches Rechnen, 2; Bestimmte Integrale, 2 *g*. —

Wöhler: Anorganische Experimentalchemie: Grundzüge der Chemie, 4; Theoretische Chemie I, 2; Kolloquium über chemische Tagesfragen (mit Martin), 1; Chemisches Praktikum für anorganische und physikalische Chemie (mit Heyl, Martin und Schaeffer), tägl. außer Sonnabend. — **Finger**: Organische Experimentalchemie, 4; Ausgewählte Kapitel aus der Chemie der Alkaloide, 2; Praktikum im Laboratorium für organische Chemie (mit Friedlaender), tägl. außer Sonnabend. — **Martin**: Analytische Chemie II, 2; Einführung zu den Übungen zur theoretischen Chemie, 2; Physikalisch-chemisches Seminar, 2 *g*. — **Heuser**: Organische Experimentalchemie, einschließlich Zellulosechemie und Teerfarbenchemie, 4; Organisch-chemisches Praktikum, nach Verabredung; Papier-Färberei-Praktikum, 4. — **Friedlaender**: Zwischenprodukte der Teerfarbenfabrikation, 1 *g*. — **Heyl**: Pharmazeutische Chemie, organischer Teil, 2; Bakteriologie und Sterilisationstechnik (mit Schaeffer), 2. — **Dieffenbach**: Elektrochemie, 2; Chemische Technologie, 4; Chemisches, chemisch-technisches und elektrochemisches Praktikum (mit Moldenhauer), tägl. außer Sonnabend. — **Moldenhauer**: Gasanalytische Methoden, 2; Theorien elektrochemischer Prozesse, 2; Elektrochemische Übungen, 4. — **Vaubel**: Theoretische Chemie I: Stereochemie, 1, Übungen, 3; Die physikalischen und chemischen Methoden der quantitativen Bestimmung organischer Verbindungen, 1; Chemie der Fette und Öle und daran anschließend Firnisse und Lacke, 1 *g*. — **Sonne**: Chemische Technologie der Explosivstoffe, mit Vorführungen, 2. — **Weller**: Untersuchen von Nahrungsmitteln, Genußmitteln und Gebrauchsgegenständen, 8, Übungen, 1. —

Graefe: Trigonometrie, mit Übungen, 3; Höhere Mathematik, 3, Übungen, 2; Geschichte der Mathematik,

1; Technische Mechanik, 3, Übungen, 2. — **Horn**: Höhere Mathematik, 6, Übungen, 4, II, 2, Übungen, 1. — **Dingeldey**: Höhere Mathematik, 5, Übungen, 4; Theorie der Determinanten, 2. — **Wiener**: Darstellende Geometrie I, 4, Übungen, 6; Neuere mathematische Lehren zur Behandlung naturwissenschaftlicher und technischer Aufgaben: Strecken- und Punktrechnung, 2—3; Arbeiten im mathematischen Institut, 3. — **R. Müller**: Darstellende Geometrie I, 4, Übungen, 6, II, 2. — **Hohenner**: Geodäsie, 4; Höhere Geodäsie, 2; Geodätische Übungen, I, 4; Geodätische Ausarbeitungen, 2; Wahrscheinlichkeits- und Ausgleichungsrechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate, 2; Praktische Geometrie, 2. — **Assistenten**: Planzeichnen, 4. — **Gasser**: Katastertechnische Berechnungen, 1 *g*. — **Henneberg**: Mechanik II, 6, Übungen (mit Graefe), 2 und 3. — **Blaeß**: Ausgewählte Abschnitte aus der technischen Mechanik, 2 *g*. —

Universität Erlangen.

Wiedemann: Experimentalphysik, 5; Physikalisches Praktikum für Anfänger, 2; Physikalisches Halb- und Vollpraktikum, tägl. außer Sonnabend. — **Reiger**: Theoretische Physik, 4, Übungen, 1 *g*; Physikalisches Kolloquium (mit Hauser), 1 *g*. — **Hauser**: Maschinenkunde für Chemiker und Physiker, 1. —

O. Fischer: Anorganische Experimentalchemie, 5; Praktische Übungen (mit Henrich): a) Analytisch-chemische Übungen, b) Vollpraktikum, tägl. außer Sonnabend; Praktikum für Mediziner, 4. — **Busch**: Organische Chemie, unter Berücksichtigung ihrer Anwendung in der Pharmazie, 3; Grundlagen der Nahrungsmittelchemie, für Chemiker und Pharmazeuten, 2; Chemisches Praktikum: a) Vollpraktikum, tägl., b) Halbpraktikum, tägl. außer Sonnabend; Pharmazeutisch-chemisches Praktikum, tägl. außer Sonnabend; Übungen in der Untersuchung von Nahrungs- und Genußmitteln, ganz- und halbtägig, tägl. außer Sonnabend. — **Henrich**: Analytische Chemie der Metalle; Experimentalvorlesung zur Ergänzung des analytisch-chemischen Praktikums, 2; Repetitorium der Chemie für Chemiker und Pharmazeuten, besonders für Kriegsteilnehmer, 2. — **Jordis**: Physikalische Chemie I, 2; Elektrochemisches Praktikum, 2; Seminar oder Repetitorium der anorganischen Chemie für Kriegsteilnehmer. —

Noether: Analytische Mechanik, 4, Übungen, 1 *g*; Synthetische Geometrie mit Übungen, 3. — **E. Fischer**: Differential- und Integralrechnung I, 4; Fouriersche Reihen, 2; Invarianten, 2; Seminar-Übungen, 2 *g*. — **Hartwig**: Fixsternkunde, 2; Systematische Einführung in die Einrichtungen der Bamberger Sternwarte, tägl. außer Freitag, *g*; Astronomisches Praktikum auf der Bamberger Sternwarte, tägl. *g*. — **Baldus**: Darstellende Geometrie, 4, Übungen, 2 *g*; Sphärische Trigonometrie, 1; Wahrscheinlichkeitsrechnung für Mathematiker, 1, Übungen, 1; Politische Arithmetik für Juristen, 1, Übungen, 1. —

Universität Frankfurt a. M.

Wachsmuth: Experimentalphysik II; Elektrizität und Optik, 5; Musikalische Akustik, 1; Physikalisches Kolloquium (mit v. Laue), 14tägig, 2; Physikalische Übungen für Anfänger, 6, für Mediziner, 4, für Fortgeschrittene, tägl.; Wissenschaftliche Arbeiten, tägl.; Handfertigkeitspraktikum (mit Seddig), 4. — **v. Laue**: Relativitätstheorie, 2. — **Déguisne**: Der elektrische Gleichstrom (Experimental-Vorlesung), 2; Elektrische Meßkunde I: Gleichstrom, 1; Elektrische Gleichstrom-Maschinen, 1; Kolloquium über die neuere Literatur der angewandten Physik, 14tägig, 2; Kleines elektrotechnisches Praktikum I, 3. II, 3; Großes elektrotechnisches Praktikum, halb- oder ganztägig; Wissenschaftliche Arbeiten, ganztägig; Gasmotorenpraktikum, nach Verabredung. — **Seddig**: Repetitorium der Experimentalphysik, 2; Photographisches Praktikum, 4 und 8. —

Freund: Organische Experimentalchemie mit einer Einleitung in die Grundlehren der anorganischen Chemie, 5; Kolloquium über neue chemische Literatur, 14tägig, 1½; Großes chemisches Praktikum und Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten: Organische Abteilung, ganztägig, Anorganische Abteilung, ganz- oder halbtägig (mit Ebler); Kleines chemisches Praktikum für Anfänger: Darstellung chemischer Präparate, Einführung in die qualitative und quantitative Analyse, Nahrungsmittelanalyse, 2 halbe Tage (mit Ebler); Chemisches Praktikum für Angehörige der Wirtschafts- und Sozialwissenschaftlichen Fakultät (mit Speyer), 2 halbe Tage. — **Lorenz**: Physikalische Chemie, 4; Geschmolzene Salze, 1; Kolloquium über neuere Arbeiten aus dem Gebiete der physikalischen Chemie, 14tägig, 2; Kleines Praktikum der physikalischen Chemie und Elektrochemie (mit Fraenkel), tägl. außer Sonnabend; Übungen im physikalisch-chemischen Laboratorium (mit Fraenkel), halb- oder ganztägig; Wissenschaftliche Arbeiten im physikalisch-chemischen Laboratorium, ganztägig. — **Ebler**: Analytische Chemie I: Einführung in die anorganische Chemie und qualitative Analyse, 2; Spektralanalyse und Kolorimetrie, 2; Gasanalyse und Gasvolumetrie, 1; Praktische Übungen, 4; Spezielle Chemie der seltenen Metalle: Seltene Erden, Uran, Wolfram, Thorium, Molybdän und Vanadin, 2; Kolloquium über anorganische und analytische Chemie, 1. — **Becker**: Angewandte Chemie und Bakteriologie in Industrie, Handel und Gewerbe, Chemisch-technische Warenkunde, Chemie und Industrie der Ersatzstoffe, mit Exkursionen, I, 2, II, 2; Chemisches Praktikum: Übungen in der Untersuchung und Beurteilung von Handelswaren: Chemisch-technische Analyse, 5. — **Fraenkel**: Einführung in die allgemeine Metallurgie, 1. — **Mayer**: Einführung in die anorganische Chemie auf elementarer Grundlage, 1; Chemie der Benzolderivate: Zwischenprodukte der Teerfarbenfabrikation, 2; Praktische Übungen in der Färberei der Textilfasern, 2. — **Speyer**: Synthetische Methoden der organischen Chemie II, 2; Chemie der Alkaloide, 1. — **Tillmans**: Praktikum der Nahrungsmittelchemie; Kursus in der Nahrungsmitteluntersuchung, 2. —

Schoenflies: Mechanik, 4; Determinanten, 2; Mathematisches Seminar (mit Bieberbach und Szász); Schriftliche Arbeiten und Vorträge der Teilnehmer, 2. — **Bieberbach**: Projektive Geometrie, 4, Übungen, 2; Funktionentheorie, 4, Übungen, 2. — **Brendel**: Bahnbestimmung der Himmelskörper, 3; Unsere heutigen Kenntnisse vom Weltall, 1; Einführung in die Versicherungsrechnung, 2, Übungen, 14tägig, 2. — **Szász**: Integralrechnung, 4, Übungen, 1. —

Universität Freiburg i. Br.

Himstedt: Experimentalphysik: Mechanik, Akustik, Wärme, 5; Übungen aus der theoretischen Physik, 1; Physikalisches Kolloquium, 2; Physikalisches Praktikum, tägl. außer Sonnabend; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, tägl. — **Koenigsberger**: Mathematische Physik: Elektrizität und Magnetismus, mit Übungen, 2—3; Quantentheorie, 2; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, tägl. — **Gaede**: Anleitung zu selbständigen Arbeiten im technisch-physikalischen Institut, tägl. — **Meyer**: Elektrochemie mit Demonstrationen, 3; Photographie mit praktischen Übungen und Demonstrationen, 2; Radioaktivität, 1; Physikalisch-chemisches Übungspraktikum, 2; Selbständige physikalisch-chemische Arbeiten, nach Verabredung. —

Gattermann: Anorganische Experimentalchemie, 5; Chemisches Praktikum (mit Riesenfeld, Fromm, Meigen, Skita, Hess und Schwarz), tägl. außer Sonnabend; Übungen im Experimentieren und Vortragen für künftige Lehrer der Chemie II, organisch (mit Riesenfeld, Hess und Schwarz), 2 *g*. — **Kiliani**: Organische Experimentalchemie, 5; Arbeiten und Übungen im chemischen Laboratorium, medizinische Abteilung, tägl.; Chemisches Praktikum für Mediziner (mit Autenrieth und Knoop), 6. — **Riesenfeld**: Metallurgie mit Exkursionen, 2; Chemie der selteneren Elemente, 1; Aus Deutschlands chemischer Großindustrie, 1; Elektrochemisches

Praktikum, 4. — **Fromm**: Organische Experimentalchemie, 5; Repetitorium der anorganischen Chemie für Mediziner, 2, Repetition, 1. — **Meigen**: Qualitative Analyse, 2; Übungen im Bestimmen von Mineralien auf chemischem Wege, 2. — **Skita**: Spezielle Kapitel und Methoden der organischen Chemie, für Vorgeschrittenere, 2; Seminar der organischen Chemie, 1; — **Hess**: Geschichte der allgemeinen Chemie, 1: Die Chemie der Alkaloide, 1; Methodik der organischen Chemie für Anfänger und Fortgeschrittenere, 1. — **Autenrieth**: Pharmazeutische Chemie I: Anorganische Chemie, 2; Darstellung und Wertbestimmung offizineller Präparate, 1. — **Knoop**: Physiologische Chemie, 2; Arbeiten und Übungen im physiologisch-chemischen Institut, tägl.; Physiologisches Praktikum, chemischer Teil (mit v. Kries und Mangold), 2; Einleitung in das chemische Praktikum für Mediziner, 1. — **Madelung**: Benzolderivate, 1. — **Schwarz**: Die theoretischen Grundlagen der quantitativen Analyse, 1; Atom und Molekül, 1. —

Heffter: Analytische Geometrie des Raumes, mit Übungen, 5; Mathematisches Seminar: Geometrische Fragen, 2 *g*. — **Stickelberger**: Einführung in die höhere Algebra, 4, Übungen, 1; Analytische Mechanik, 4, Übungen, 1. — **Loewy**: Differentialrechnung, 4, Übungen, 1; Differentialgleichungen, 4; Interpolation und mechanische Quadratur, 1. — **Seith**: Neuere Geometrie, 2. — **Bolza**: Elliptische Funktionen, 3. —

Universität Gießen.

König: Experimentalphysik II: Elektrizität und Optik, 5; Elektronentheorie, 1; Physikalisches Praktikum für Mathematiker und Naturwissenschaftler, 6, für Fortgeschrittene, nach Verabredung, für Chemiker, Mediziner, Pharmazeuten und Landwirte, 3; Leitung selbständiger physikalischer Arbeiten, tägl.; Physikalisches Seminar für Lehramtskandidaten: Übungen in Demonstrationsversuchen und Behandlung einfacher theoretischer Hausaufgaben für II. und I. Stufe (mit Cermak), 14tägig, 2 *g*; Physikalisches Kolloquium (mit Fromme), 14tägig, 2. — **Fromme**: Geometrische und physikalische Optik, 3; Theoretisch-physikalische Übungen, 1; Meteorologie, 1. — **Aßmann**: Aerologie, 1. — **Uller**: Einführung in die mathematische Behandlung physikalischer Probleme, 1. — **Cermak**: Handfertigkeitspraktikum, 3; Elektromagnetische Schwingungen, mit Versuchen, 1. — **Peppler**: Meteorologische Optik, 1. — **Jentzsch**: Beugungstheorie der optischen Instrumente, 1; Ballistik, 1. —

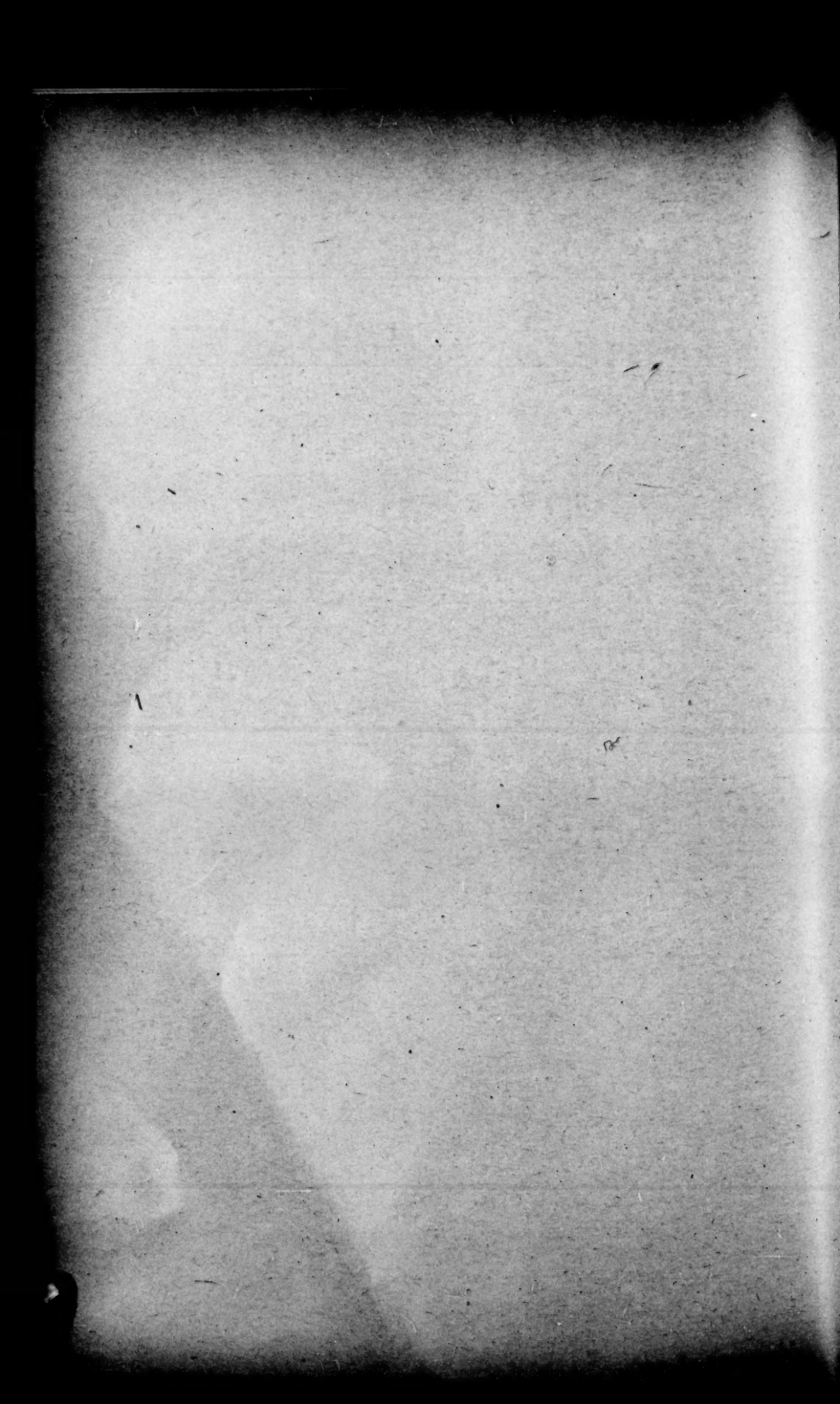
Elbs: Organische Experimentalchemie, 5; Chemisches Praktikum, tägl.; Chemische Übungen für Landwirte, tägl. außer Sonnabend, für Mediziner und Veterinärmediziner, 5. — **Schaum**: Anorganische Chemie, 5; Kolloidchemie, 1; Physikalisch-chemische Übungen, 3; Physikalisch-chemisches Praktikum, tägl. — **Brand**: Chemische Technologie I: Technologie anorganischer Stoffe, mit Exkursionen, 2. — **Feist**: Pharmazeutisch-chemische Präparate, organischer Teil, 3; Untersuchung von Trinkwasser und Harn, 2. — **v. Liebig**: Grundanschauungen der Chemie in ihrer geschichtlichen Entwicklung, 1 *g*. — **Thomae**: Chemie der Fette, Wachse und Harze, 1. —

Engel: Integralrechnung ev. Differential- und Integralrechnung, 4, Übungen, 1; Differentialgeometrie, 4, Seminar, 2. — **Schlesinger**: Enzyklopädie der Elementarmathematik, besonders für Kriegsteilnehmer, 4; Funktionentheorie, 4; Mathematisches Seminar: Über Differentialgleichungen, 2. — **Graßmann**: Analytische Geometrie des Raumes, 2; Lineare Systeme von Kegelschnitten, 2; Analytische Mechanik I, 4; Mathematisches Seminar: Über Kegelschnittsysteme, 14tägig, 1. —

Universität Göttingen.

Debye: Neuere Fortschritte der Quantentheorie, 2; Experimentalphysik: Optik, für Physiker und Mathematiker, 4; Praktische Übungen im Physikalischen Institut (mit Simon und v. Traubenberg), 4; Wissenschaftliche Arbeiten im Physikalischen Institut, tägl.; Mathematisch-physikalisches Seminar: Vorträge über Struktur der Materie (mit Hilbert), 2 *g*. — **Voigt**: Partielle Differentialgleichungen der Physik, 4; Spektroskopie der Röntgenstrahlen, 2 *g*; Wissenschaftliche Arbeiten Vorgeschrittener, nach Verabredung, *g*; Kolloquium über neuere physikalische Literatur (mit Debye) 2 *g*; Mathematisch-physikalisches Seminar: Spezielle Beispiele für physikalische Anwendungen der partiellen Differentialgleichungen, 2 *g*. — **Wiechert**: Vermessungswesen: Anwendung der Mathematik auf Erdmessung, Landmessung, Geographie, Schiffahrt, Luftschiffahrt, Bergbau, 4; Mathematisch-physikalisches Seminar: Vorträge über geonomische Fragen, 1; Geophysikalisches Praktikum, nach Verabredung, *g*; Theorie der Elektrizität und des Magnetismus, 4. — **Simon**: Die Anwendungen der Elektrizitätslehre, mit Demonstrationen, 4; Physik und Technik des elektrischen Lichtbogens, 1 *g*; Elektrotechnisches Praktikum, 3; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten auf dem Gebiete der angewandten Elektrizität, tägl. — **Reich**: Einführung in die Maxwellsche Theorie, 1. — **Pohl**: Experimentalphysik für Naturwissenschaftler und Mediziner, 4. — **Rausch v. Traubenberg**: Einführung in die mathematische Behandlung der Naturwissenschaften, 3; Einführende physikalische Übungen, besonders für Kriegsteilnehmer, 2. —

Windaus: Allgemeine Chemie I: Anorganische Chemie, 5; Chemisches Kolloquium, 1 *g*; Seminar für Lehramtskandidaten (mit Borsche), 1 *g*; Chemische Übungen (mit Borsche), tägl. außer Sonnabend, Voll- und Halbpraktikum; Chemisches Praktikum für Mediziner, 6. — **Tammann**: Elektrochemie, 2; Physikalisch-chemisches Praktikum für Anfänger, 4 Wochen; Physikalisch-chemische Arbeiten, ganz- und halbtägig; Kolloquium, 1 *g*. — **Zsigmondy**: Anorganische Kolloide I: Metalle, 1 *g*; Ausgewählte Kapitel aus der anorganischen Chemie, 1; Praktikum der anorganischen und der Kolloidchemie, ganz- und halbtägig. — **Coehn**: Moderne Theorien der Chemie, 1; Photographisches Praktikum: a) für Anfänger, b) für Fortgeschrittene, 3; Photochemische Arbeiten, ganz- und halbtägig. — **Mannich**: Nahrungsmittelchemie, 1; Pharmazeutische Chemie, organischer Teil, 3; Praktische Übungen in pharmazeutischer, toxikologischer und Nahrungsmittelchemie, tägl. außer Sonnabend; Kolloquium über pharmazeutische Chemie, 1 *g*; Einführung in die Chemie für Mediziner (im Anschluß an das chemische Praktikum), 2. — **Borsche**: Grundzüge der analytischen Chemie, 2; Chemische Technologie organischer Verbindungen I, 2; Chemie der Kohlehydrate, 1. — **Vogel**: Metallographie, 1; Metallographisches Praktikum, 3. — **Bachmann**: Ausgewählte Kapitel aus der analytischen Chemie: Maßanalyse, optische Analyse und Mikroanalyse, 1. —

Hilbert: Prinzipien der Mathematik, 2; Vorträge über mathematische Prinzipien (mit Frl. Noether), 2 *g*; Elektronentheorie, 2. — **Klein**: Mathematisch-physikalisches Seminar: Vorträge über moderne Entwicklung der Mathematik (Fortsetzung), nach Verabredung *g*. — **Landau**: Differential- und Integralrechnung II, 4, Übungen, 1; Funktionentheorie II, 4, Übungen, 1 *g*. — **Runge**: Numerisches Rechnen mit Übungen, 6; Mathematisch-physikalisches Seminar: Fragen der angewandten Mathematik, 2 *g*. — **Carathéodory**: Algebra, 4; Variationsrechnung, 4; Seminar, 1 *g*. — **Hartmann**: Einführung in die Astronomie, 2; Leitung astronomischer und astrophysikalischer Arbeiten für Fortgeschrittene, 12; Astronomisches Seminar, nach Verabredung, *g*. — **Bernstein**: Mathematische Statistik und Versicherungsmathematik, 3; Versicherungsrechnung mit schriftlichen Übungen, 2; Seminar für Versicherungswissenschaft: Vorträge der Mitglieder über ausgewählte Gegenstände der Wahrscheinlichkeitsrechnung, 2 *g*. — **Ambronn**: Sphärische Astronomie, 2; Chronologie und Kalenderwesen, 1; Übungen in astronomischen Beobachten für Anfänger, 6; Anleitung zu selbständigen astronomischen Arbeiten Fortgeschrittener, tägl. —

Für die Schriftleitung verantwortlich Geh. Regierungsrat Prof. Dr. H. Th. Simon in Göttingen. — Verlag von S. Hirzel in Leipzig.
Druck von August Pries in Leipzig.